

Jarno Mujunen

Poistoilmalämpöpumppu vanhassa kerrostalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

12.5.2014

Tekijä Otsikko	Jarno Mujunen Poistoilmalämpöpumppu vanhassa kerrostalossa
Sivumäärä Aika	44 sivua 12.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	toimitusjohtaja Jussi Annala ohjaava opettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinöörityössä oli tavoitteena tutkia poistoilmalämpöpumpun tekniikkaa ja poistoilmalämpöpumpun käyttöä vanhan kaukolämmitteisen kerrostalon yhteydessä. Työssä tutustuttiin Suomen olemassa olevan rakennuskannan talotekniikan kehitykseen, korjaustarpeeseen sekä siihen, miten poistoilmalämpöpumppua voi käyttää kaukolämmön rinnalla.</p> <p>Työssä tutkittiin jo aiheesta tehtyjen tai aihetta läheltä koskeneiden insinööritöiden tuloksia poistoilmalämpöpumppujärjestelmien teoreettisista ja toteutuneista energia- ja kustannussäästöistä. Tavoitteena oli myös vertailla näitä tuloksia ja pohtia poistoilmalämpöpumppujärjestelmän kannattavuutta vanhoissa kerrostaloissa.</p> <p>Tulokset osoittivat, että poistoilmalämpöpumpuilla on mahdollista saavuttaa kohtalaisia säästöjä ja yleensä kaukolämmityksen ja poistoilmalämpöpumpun rinnakkaisjärjestelmillä on mahdollista päästä alle kymmenen vuoden takaisinmaksuaikoihin.</p>	
Avainsanat	poistoilmalämpöpumppu, ilmanvaihto, energiansäästö, lämmitys

Author Title	Jarno Mujunen Exhaust Air Heat Pump in an Old Multi-Storey Building
Number of Pages Date	44 pages 12.5.2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructors	Jussi Annala, CEO Jukka Yrjölä, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study the function of exhaust air heat pumps and how an exhaust air heat pump could be used together with an old district heat system in an old multi-storey building. Since a large part of the Finnish multi-storey buildings are fairly old, it served the purpose of the thesis also to study the development of Finnish building services and the need for repair of the buildings.</p> <p>For the thesis some previous theses about the subject were studied. The theoretical and actual energy savings and cost savings that had been established in the theses were looked into. The aim was to compare these theses among themselves to find out the viability of exhaust air heat pumps in old multi-storey buildings.</p> <p>The results show that the installation of an exhaust air heat pump makes it possible to achieve moderate cost and energy savings. Furthermore, with the combination of exhaust air heat pumps and district heating it is possible to pay the exhaust air heat pump investment back in less than ten years.</p>	
Keywords	exhaust air heat pump, ventilation, energy save, heating

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämpöpumput Suomessa	2
3	Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate	4
3.1	Poistoilmalämpöpumpun huolto	7
3.2	Kertoimia	7
3.2.1	COP	7
3.2.2	SCOP	9
3.2.3	EER ja SEER	9
3.2.4	SPF	10
4	Käynnistysavustus asuntojen perusparantamiseen	10
5	Talotekniikan historiasta ja korjausrakentamisesta Suomessa	11
5.1	Ilmanvaihdon kehitys koneelliseksi poistoilmanvaihdoiksi	11
5.2	Patterilämmitys ja kaukolämpö Suomessa	14
5.3	Korjausrakentaminen Suomessa	15
5.4	Lämpöpumput	16
6	Energian hinnan kehitys Suomessa	17
6.1	Kaukolämpö	17
6.2	Sähkö	19
7	Poistoilmalämpöpumppu vanhassa kerrostalossa	19
7.1	Kytkevävaihtoehdot	20
7.1.1	Suomalaiset käytännöt	20
7.1.2	Ruotsalainen kytkentämalli	23
7.2	Poistoilmalämpöpumppuvalmistajia Suomen markkinoilla	24
7.2.1	Thereco	25
7.2.2	Naavatar	26
7.3	Verkostojen lämpötilat	28
7.4	Poistoilmalämpöpumpun energialaskenta	29
7.5	Yksinkertainen laskentamenetelmä	29
7.5.1	Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia	30

7.5.2	Poistoilmalämpöpumpun ostoenergiankulutus	32
7.6	Yksityiskohtainen laskentamenetelmä	34
8	Poistoilmalämpöpumpuilla saavutettuja tuloksia vanhoissa kerrostaloissa	34
8.1	Energiansäästö poistoilmalämpöpumpuilla kaukolämmiteisissä kerrostaloissa	34
8.1.1	Insinööritö 1	34
8.1.2	Insinööritö 2	36
8.1.3	Insinööritö 3	37
8.1.4	Insinööritö 4	37
8.2	Kannattavuus	37
8.3	Ympäristönäkökulma	39
9	Yhteenveto	40
	Lähteet	42

Määritelmiä

COP (Coefficient of Performance) on lämpökerroin, jolla kuvataan, miten moninkertaisen määrän lämpöä lämpöpumppu tuottaa itse kuluttamaansa energiamäärään verrattuna.

D2 on rakentamismääräyskokoelman osa, joka sisältää ohjeet rakennusten sisäilman ja ilmanvaihdon suunnitteluun.

D5 on rakentamismääräyskokoelman osa, joka sisältää ohjeet rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan.

EER (Energy Efficiency Ratio) on kylmäkerroin, joka ilmoittaa laitteen jäähdytyksen energiataloudellisuuden.

Hybridilämmitysjärjestelmä on järjestelmä, jossa keskeisessä osassa on energiavaraaja, johon eri lämmönlähteet varastoivat energiaa tulevaa käyttöä varten. Poistoilmalämpöpumpun ja kaukolämmön yhdistelmää voi kutsua hybridilämmitykseksi.

PILP, poistoilmalämpöpumppu, ottaa lämpöä talteen kiinteistön poistoilmasta ja luovuttaa lämmön kiinteistön ja käyttöveden lämmittämiseen.

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) on lämmityskauden lämpökerroin, joka lasketaan erikseen kullekin määrätylle lämmityskaudelle.

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) on jäähdytyksen vuotuinen kylmäkerroin.

SPF-luku (Seasonal Performance Factor) on lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun sekä apulaitteiden vuotuisen sähkönkulutukseen.

SULPU, Suomen lämpöpumppuyhdistys ry, valvoo Suomessa lämpöpumppualalla toimivien ammatinharjoittajien yleisiä ja yhteisiä ammatinharjoittamiseen liittyviä etuja, edistää jäsentensä välistä yhteistoimintaa ja parantaa alan yleisiä toimintaedellytyksiä.

Suomen rakentamismääräyskokoelma (SRMK) sisältää täydentäviä säännöksiä ja ohjeita maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä asetukseen.

1 Johdanto

Energian hinnan noustessa ja energiamääräysten tiukentuessa on ruvettu uudisrakennusten lisäksi kiinnittämään huomiota myös vanhempien rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen ja kustannussäästöihin pitkällä aikavälillä. Lämpöpumpputekniikka on etenkin uusissa pientaloissa saavuttanut suuren suosion Suomessa, ja erilaiset lämpöpumput ovat varteenotettavia vaihtoehtoja lämpöenergian tuottamiseksi niin uusissa kuin vanhoissakin kerrostaloissa. Suomessa olikin vuoden 2012 lopussa käytössä noin 540 000 lämpöpumppua, joista noin 25 000 kappaletta oli poistoilmalämpöpumppuja. Pelkästään vuoden 2012 aikana otettiin käyttöön noin 60 000 lämpöpumppua, joista tosin vain 1900 oli poistoilmalämpöpumppuja. On ennustettu, että Suomessa olisi vuoden 2020 aikana yli miljoona lämpöpumppua käytössä, ja investoinnit niihin olisivat noin 800 miljoonaa euroa vuodessa, kun tällä hetkellä investoinnit ovat 400 miljoonan euron luokkaa vuodessa. Tällä hetkellä eniten asennetaan ilmalämpöpumppuja niiden halvan hinnan ja helpon asentamisen vuoksi. (1, s. 27.)

Yksi merkittävimmistä energian tuhlaajista vanhoissa kerrostaloissa on koneellinen poistoilmanvaihto, joten on selvää, että taloteknisesti helppo keino parantaa näiden kiinteistöjen energiataloudellisuutta on ottaa energiaa talteen poistoilmanvaihdosta. Poistoilmasta voi ottaa energiaa talteen käytännössä kahdella tavalla: lämmittämällä lämmöntalteeottimella talteen saadulla energialla tuloilmaa tai lämmittämällä kiinteistön käyttövettä ja patteriverkostovettä poistoilmalämpöpumpusta saadulla lämmitysenergialla. Vanhemmissa kiinteistöissä ei kuitenkaan yleensä ole tuloilmakanavistoa, ja sen rakentaminen olisi yleensä myös kallista ja aikaa vievää. Poistoilmalämpöpumpun asentaminen kiinteistöön saattaa olla huomattavasti halvempaa ja rakennustekniset työt ovat todennäköisesti vähäisemmät eikä poistoilmalämpöpumpun asentamisen pitäisi vaikuttaa merkittävästi kiinteistössä asumiseen asennustöiden aikana.

Ottamalla energiaa talteen poistoilmanvaihdosta ja lämmittämällä sillä esimerkiksi käyttövettä lämpöpumpun avulla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä. Säästöjen suuruuteen vaikuttavat poistoilmalämpöpumpun käyttötavan lisäksi muun muassa kiinteistön lämmitysmuoto ja energian hinta.

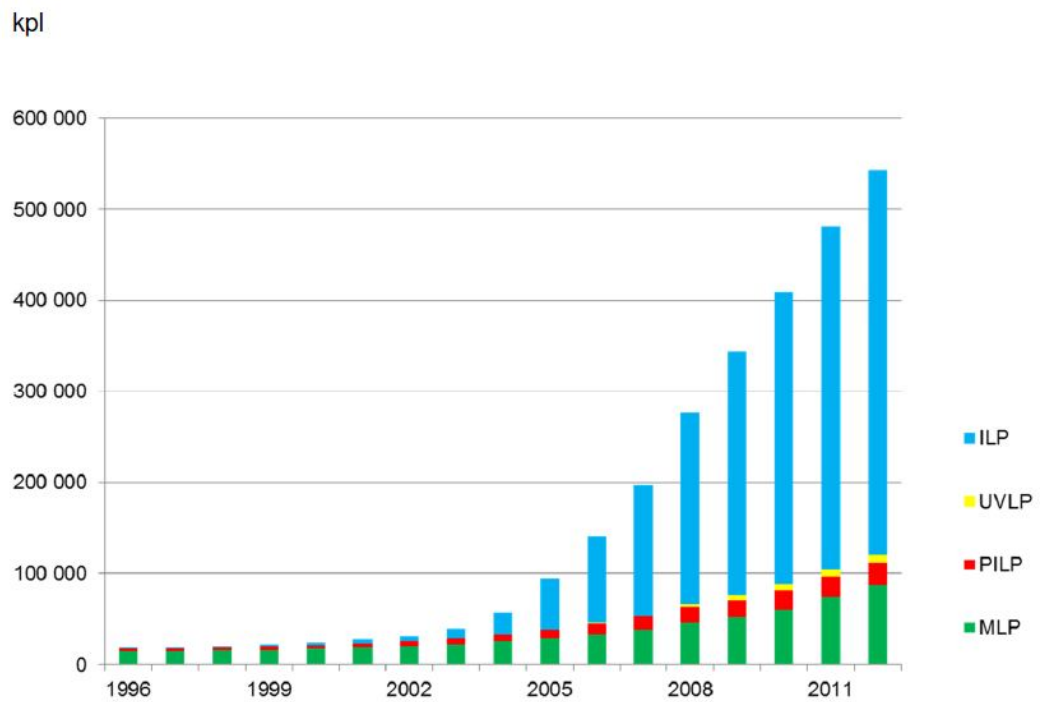
Tämän insinööriyön lähtökohtana oli tarkastella, miten poistoilmalämpöpumppua voi hyödyntää vanhojen kerrostalojen yhteydessä Suomen oloissa ja miten suuria säästöjä poistoilman lämmön talteenotto poistoilmalämpöpumpulla voi teoriassa tuottaa vanhoissa kerrostaloissa. Aihetta käydään läpi muun muassa tutkimalla vanhojen opinnäytetöiden tuloksia ja valmistajien materiaaleja. Työssä käydään myös läpi lämpöpumpputekniikan toiminnan periaatteet, kytkentöjä sekä ilmanvaihdon ja lämmityksen kehitystä nykytilanteeseen. Tämän insinööriyön lähtökohtana on perehdyttää poistoilmalämpöpumpun perustoimintaan ja energiansäästöpotentiaaliin kaukolämmön rinnalla. Työssä ei käsitellä poistoilmalämpöpumppua muiden kuin kaukolämmön rinnalla eikä vertailla poistoilmalämpöpumpun käyttömahdollisuuksia muihin lämpöpumppuihin.

2 Lämpöpumput Suomessa

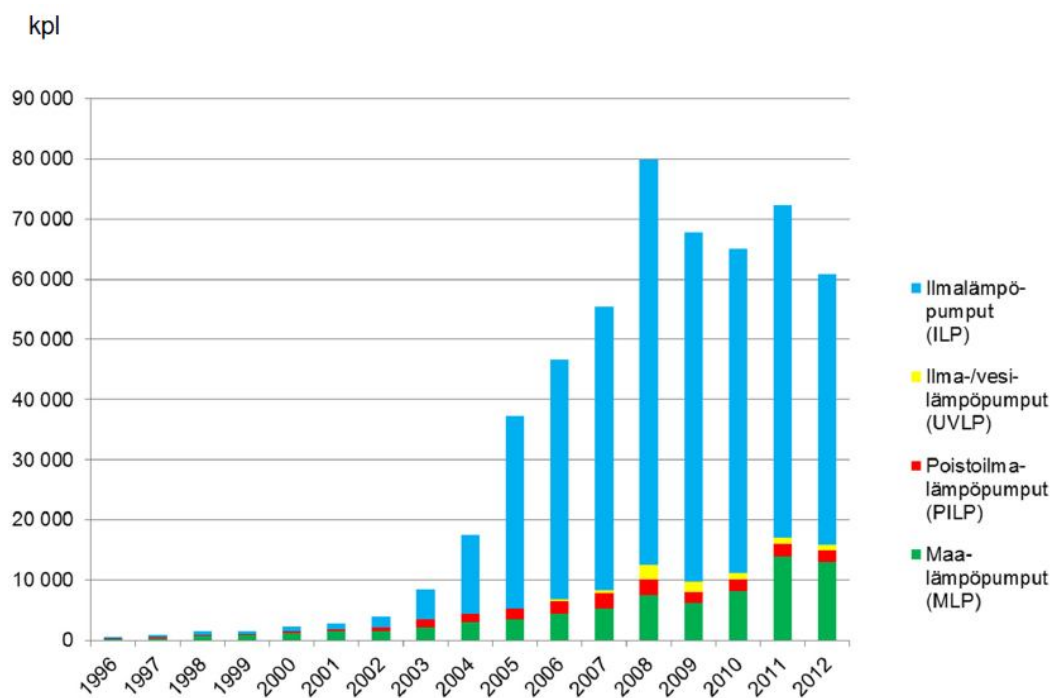
Lämmitysöljy oli Suomessa aikanaan huomattavasti halvempaa kuin nykyään (1960-luvulla kuusi penniä litralta ja vuonna 2013 reilun euron litralta), mikä sai suurimman osan omakotitalojen rakentajista valitsemaan taloonsa öljylämmityksen. Myös suora sähkölämmitys oli etenkin haja-asutusalueilla runsaassa käytössä sen halpojen investointikustannusten ja halvan sähkön hinnan vuoksi. (1, s. 7.)

Lämmitysöljyn hinta on moninkertaistunut inflaatiosta huolimatta, ja myös sähkölämmittäminen on nykyään huomattavan kallista, ja määräykset ovat ajaneet sähkölämmittäjät taloudellisesti ahtaalle, mikä on saanut rakentajia etsimään uusia lämmitysratkaisuja alentamaan energiakustannuksia. Etenkin vanhoihin omakotitaloihin, paritaloihin ja rivitaloihin asennetaan nykyään paljon ilmalämpöpumppuja vanhojen lämmitysjärjestelmien rinnalle, mutta myös kokonaisia vanhoja lämmitysjärjestelmiä saneerataan esimerkiksi maalämpöön. Uusissa omakotitaloissa ja myös kerrostaloissa maalämpö alkaa olla yksi merkittävimmistä energiamuodoista kaukolämmön ja suoran sähkölämmityksen rinnalla. (1, s. 7.)

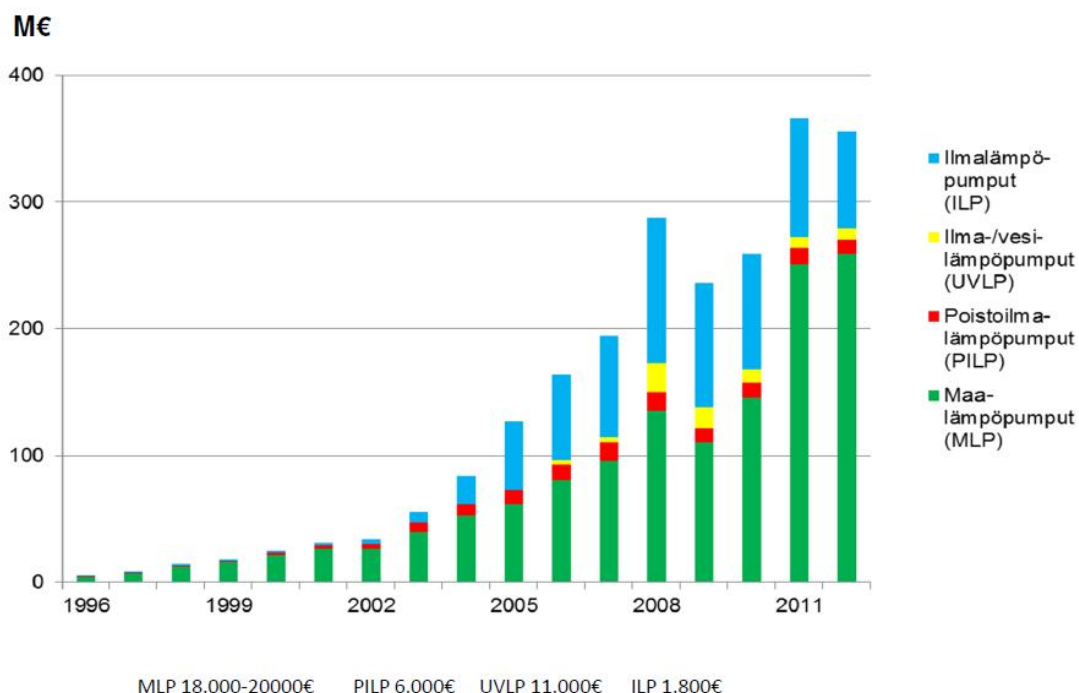
Kuvissa 1–3 nähdään lämpöpumppujen myyntimäärien ja kokonaismäärien kehitys vuosien 1996–2012 aikana:



Kuva 1. Lämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys vuosina 1996–2012 (2).



Kuva 2. Lämpöpumppujen kappalemyyntimäärät vuosina 1996–2012 (3).



Kuva 3. Lämpöpumppujen myyntimäärät euroina vuosina 1996–2012 (4).

Kuten kuvista 1–3 nähdään, eri lämpöpumppujen määrä on kasvanut voimakkaasti 2000-luvulla ja määrällisesti selkeästi eniten on asennettu ilma-ilmalämpöpumppuja, mutta eniten rahaa on liikkunut maalämpöpumppujen parissa niiden korkean hinnan vuoksi. Poistoilmalämpöpumppujen ja ilma-vesilämpöpumppujen myyntimäärät ovat pysyneet koko ajan tasaisen vähäisinä. Ilma-vesilämpöpumppujen pienehköihin myyntimääriin Suomessa vaikuttanee niiden huono toiminta talven kovilla pakkasilla, jolloin käyttövesi ja sisätilat joudutaan joka tapauksessa lämmittämään jollain muulla energialla, sekä verrattain korkea hankinta- ja asennushinta.

Huolimatta uudisrakentamisen määrän vähenemisestä vuonna 2013 lämpöpumppujen määrä jatkoi kasvuaan ylittäen 600 000 lämpöpumpun kokonaismäärän. (5)

3 Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate

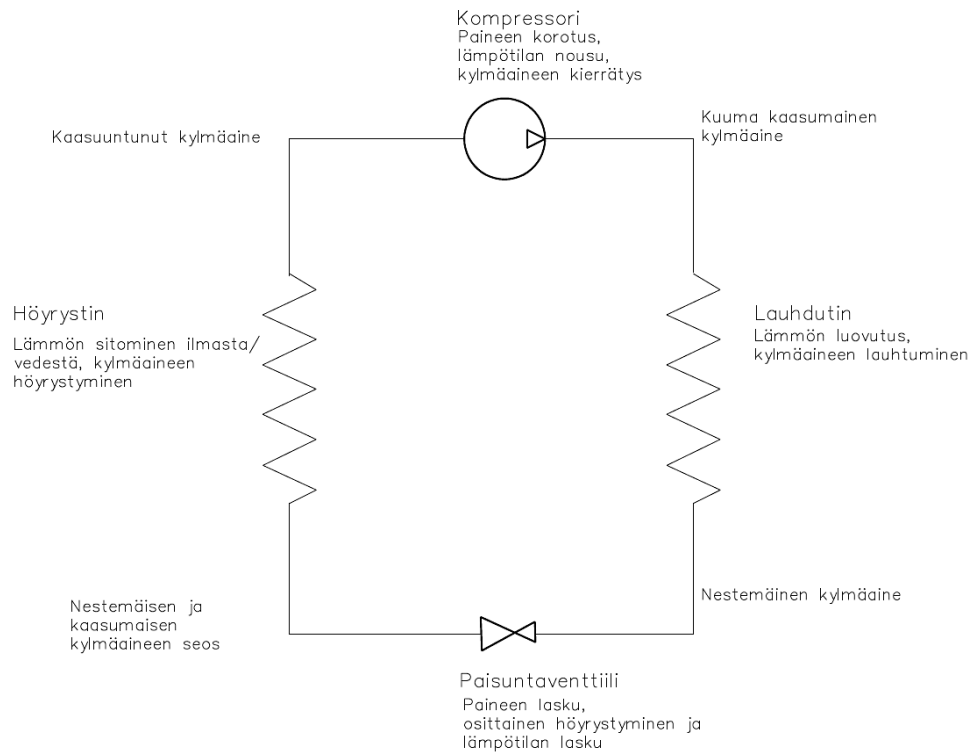
Poistoilmalämpöpumpun periaate on pitkälti sama kuin muissakin lämpöpumppulaitteissa, esimerkiksi maalämpöpumpuissa ja ilmalämpöpumpuissa. Lämpöpumput vähentävät lämmitysenergian kulutusta keräämällä ilmaista lisäenergiaa lämmitykseen

ilmasta, maasta, vedestä tai poistoilmasta ja hyödyntävät saadun energian lämmitykseen. Lämpöpumppujen toimintaperiaate on kuin kylmälaitteissa: kylmälaitteissa lämpö siirretään jäähdytettävistä tiloista tai materiaaleista ulos, kun taas lämpöpumpuilla lämpöä kerätään maasta, ilmasta tai poistoilmasta ja siirretään saatu lämpöenergia sisälle kiinteistöön huoneilman ja käyttöveden lämmittämiseen.

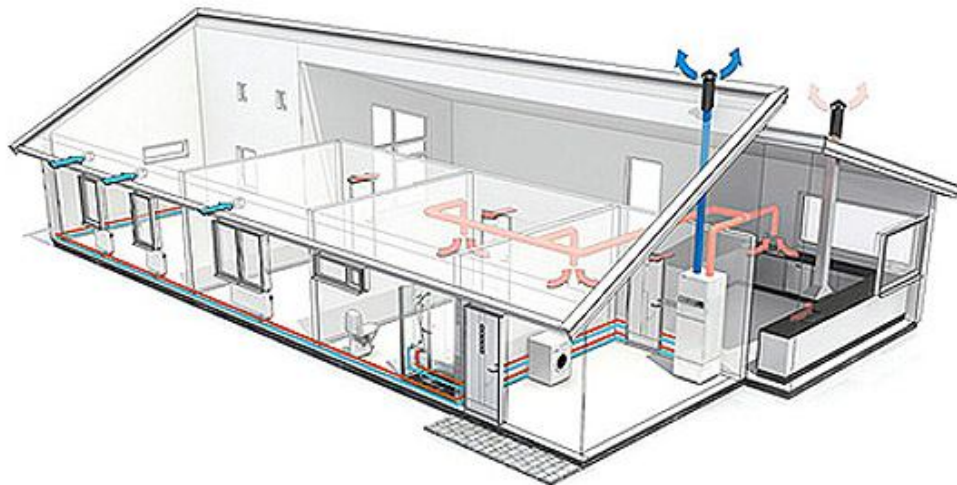
Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon lämpöpumpun eri osissa. Yksinkertaistettuna lämpöpumpussa on neljä keskeistä osaa: lauhdutin, kompressor, höyrystin ja paisuntaventtiili (kuva 4).

Poistoilmalämpöpumppujen prosessi on seuraavanlainen: Huoneista imetään poistoilmaa ilmanvaihtokanaviston kautta ulos. Poistoilma virtaa höyrystimen läpi, jolloin kylmäaine höyrystyy matalan höyrystymislämpötilansa vuoksi ja energiaa siirtyy huoneilmasta kylmäaineeseen. Kylmäaine puristetaan tämän jälkeen kompressorissa korkeaan paineeseen, jolloin kylmähöyryn lämpötila kohoaa voimakkaasti. Tämän jälkeen kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, joka luovuttaa lämpöä kylmäaineesta ja samalla kylmäaine lauhtuu eli nesteytyy. Lauhdutin voi sijaita esimerkiksi lämpimän käyttöveden varaajassa, jolloin kylmäaine luovuttaa lämpöä lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Seuraavaksi kylmäaine johdetaan paisuntaventtiiliin, jolloin osa kylmäaineesta höyrystyy, minkä vaatima lämpö laskee voimakkaasti kylmäaineen lämpötilaa. Paisuntaventtiilistä kylmäaineen ja -höyryn seos virtaa höyrystimeen. (1, s. 28.)

Koska lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon ja sen olomuodon ja lämpötilojen muutokseen, voidaan sanoa, että kylmäaine on keskeinen osa lämpöpumpputekniikkaa. Viime aikoina lämpöpumppujen kylmäaineet ovat kehittyneet nopeasti. Lämpöpumppujen kylmäaineina käytetään yleisesti synteettisiä fluorihilivetyjä (HFC-yhdisteitä). Ne eivät vahingoita ilmakehän otsonikerrosta, kuten aikoinaan käytetty kylmäaineet, mutta ne ovat kasvihuonekaasuja, joten on mahdollista, että ne kielletään tulevaisuudessa. HFC-yhdisteiden lisäksi myös propaania ja hiilidioksidia käytetään kylmäaineina lämpöpumpuissa. Hiilidioksidia pidetään yhtenä vaihtoehtona HFC-yhdisteille, mikäli ne tullaan kieltämään. (1, s. 46.)



Kuva 4. Lämpöpumpun yksinkertaistettu toimintaperiaate.



Kuva 5. Omakotitalon poistoilmalämpöpumpun periaate (6).

Kuvassa 5 on periaate poistoilmalämpöpumpun toiminnasta omakotitaloissa ja muissa pienissä kiinteistöissä. Niissä poistoilmalämpöpumppu on yleensä jääkaapin kokoinen yksikkö, joka sisältää lämpöpumpun lisäksi ilmanvaihtokoneen.

Poistoilmalämpöpumppua ei yleensä käytetä ainoana lämmitysjärjestelmänä kiinteistössä, sillä sen tuottama lämpö on riippuvainen poistoilmavirran suuruudesta. Tästä johtuen yleensä etenkin saneerauskohteissa poistoilmalämpöpumpuilla lämmitetään pelkästään lämmin käyttövesi ja lämmitys hoidetaan jollain toisella järjestelmällä tai poistoilmalämpöpumpulla esilämmitetään suurimman osan vuodesta käyttövesi ja lämmitysvesi, jolloin rinnakkaisella järjestelmällä tuotetaan tarvittava lisälämpö. (1, s. 79.)

Jotta poistoilmalämpöpumppu toimisi kunnolla ja luovuttaisi riittävästi lämpöä, tulisi poistoilmavirran olla riittävä ja kosteudeltaan sopiva. Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan perustapauksessa asunnon ilman tulee vaihtua kerran kahdessa tunnissa, minkä lämpöenergiasta poistoilmalämpöpumpun tulisi saada vähintään 30 prosenttia talteen. Kun poistoilmalämpöpumppua hyödynnetään, tulee ilmanvaihdon poistoilmasta saada talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 prosenttia ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. (7)

3.1 Poistoilmalämpöpumpun huolto

Poistoilmalämpöpumpun hyvän lämmöntuoton ja laitteiston käyttöiän kannalta on välttämätöntä huoltaa laitteistoa säännöllisesti. Ehkä merkittävin ero poistoilmalämpöpumpun huoltamisessa verrattuna muihin lämpöpumppeihin on suodattimien vaihto ja puhdistus määräajoin. (1, s. 82.) Tarvittaessa myös LTO-patteri on puhdistettava.

3.2 Kertoimia

3.2.1 COP

Lämpökertoimella COP (Coefficient of Performance) kuvataan lämpöpumpun toiminnan tehokkuutta, eli sitä, kuinka moninkertaisen määrän lämpöä pumppu tuottaa kuluttamaansa energiamäärään verrattuna. Jos lämpöpumpun COP-arvo on 3, pumppu luovuttaa kuluttamansa kilowattitunnin lisäksi rakennukseen kaksi ylimääräistä kilowattituntia lämpöä.

Lämpökertoimen suuruuteen vaikuttavat lämmön keruu- ja luovutuslämpötilat, ja se voidaan laskea kaavalla 1 (1, s. 30):

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

T_1 on kohteen lämpötila (K), josta lämpö kerätään (poistoilmalämpöpumpun tapauksessa poistoilman lämpötila)

T_2 on lämmön luovutuslämpötila (K) eli esimerkiksi lämpimän käyttöveden lämpötila

Lämpöpumppujen COP-arvoja laskettaessa on muistettava, että laskennalliset COP-arvot ovat teoreettisia ja todelliset arvot ovat yleensä huomattavasti huonompia, sillä kaavassa oletetaan kompressorin ja lämpöpumpun muidenkin laitteiden toimivan aina täydellä hyötysuhteella. Todellisessa tilanteessa kuitenkin kompressorin ja apulaitteiden sähkönkulutus huonontaa lämpökertoimen arvoja. COP-kaavassa myös käytetään lämpötiloina esimerkiksi poistoilman ja lämpimän käyttöveden lämpötiloja, vaikka todellisuudessa pitäisi käyttää kylmäaineen lämpötiloja paisuntaventtiilin tuntumassa ja kompressorin jälkeen, mikäli haluttaisiin saada realistisia arvoja.

COP-arvo on sitä parempi, mitä pienempi ero keruu- ja luovutuslämpötiloilla on. Maa- ja ilmalämpöpumppujen tapauksessa asukas tai taloyhtiö eivät voi itse vaikuttaa ulkolämpötilaan tai maan lämpötilaan, mutta sisälämpötilaa pienentämällä he voivat vaikuttaa hyötysuhteeseen. Lämpöpumppuja suunniteltaessa kiinteistöihin COP-arvoa saa parannettua tietyillä periaatteilla:

- Kiertovedellä lämpenevillä taloilla matala kiertoveden lämpötila parantaa hyötysuhdetta. Tästä syystä lämpöpumppujen yhteyteen sopivin lämmitysmuoto on yleensä vesikiertoinen lattialämmitys.
- Asetetaan matalampi sisälämpötila. Tällöin tosin myös poistoilman lämpötila on alhaisempi, mikä poistoilmalämpöpumpun tapauksessa laskee COP-arvoa.
- Myös lämpöpumpun sijoituksella on merkityksensä sen energiakustannuksiin, mutta COP-kaavassa sitä ei pystytä huomioimaan. Yleensä lämpöpumppu kannattaa sijoittaa mahdollisimman keskeiselle paikalle, jolloin etäisyydet pysyvät

mahdollisimman pieninä. Etäisyyksien pysyessä pieninä pumppausenergian tarve vähenee ja putkiston lämpöhäviöt pienenevät. (1, s. 30.)

3.2.2 SCOP

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) on lämmityskauden lämpökerroin, joka lasketaan erikseen kullekin määrätylle lämmityskaudelle, koska sovellettavat lämpötilavälit, perusmitoituslämpötilat ja mitoituskuormat ovat lämmityskausikohtaisia. SCOP:n perusteella lämpöpumput voidaan jakaa eri energialuokkiin energialuokan A+++ ollessa kaikkein paras ja luokan G ollessa kaikkein huonoin luokka. Luokka kertoo laitteen energiatehokkuuden verrattuna muihin vastaaviin laitteisiin. (1, s. 31.) Energialuokkien määrittämiseksi Eurooppa on jaettu lämpötilaolosuhteiden perusteella kolmeen alueeseen: Pohjois-Euroopassa laskelmien perustana käytetään Helsinkiä, Keski-Euroopassa Strassburgia ja Etelä-Euroopassa Ateenaa. (8)



	SEER	SCOP
A+++	SEER $\geq 8,50$	SCOP $\geq 5,10$
A++	$6,10 \leq \text{SEER} < 8,50$	$4,60 \leq \text{SCOP} < 5,10$
A+	$5,60 \leq \text{SEER} < 6,10$	$4,00 \leq \text{SCOP} < 4,60$
A	$5,10 \leq \text{SEER} < 5,60$	$3,40 \leq \text{SCOP} < 4,00$
B	$4,60 \leq \text{SEER} < 5,10$	$3,10 \leq \text{SCOP} < 3,40$
C	$4,10 \leq \text{SEER} < 4,60$	$2,80 \leq \text{SCOP} < 3,10$
D	$3,60 \leq \text{SEER} < 4,10$	$2,50 \leq \text{SCOP} < 2,80$
E	$3,10 \leq \text{SEER} < 3,60$	$2,20 \leq \text{SCOP} < 2,50$
F	$2,60 \leq \text{SEER} < 3,10$	$1,90 \leq \text{SCOP} < 2,20$
G	SEER $< 2,60$	SCOP $< 1,90$

Kuva 6. Eri energialuokat SCOP- ja SEER-kertoimien perusteella (SEER on lyhenne sanoista Seasonal Energy Efficiency Ratio) (8).

3.2.3 EER ja SEER

EER (Energy Efficiency Ratio) on lämpöpumpun kylmäkerroin ja SEER on lämpöpumpun jäähdytyksen vuotuinen kylmäkerroin. Lämpöpumppu on sitä energiatehokkaampi, mitä korkeampi kerroin on. SEER-kertoimien energialuokka nähdään kuvasta 6.

Lämpöpumpun kylmäkerroin saadaan, kun vähennetään lämpöpumpun COP-kertoimesta luku 1 (kaava 2). (9)

$$EER = COP - 1 \quad (2)$$

3.2.4 SPF

SPF-luku (Seasonal Performance Factor) on lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, eli se ilmoittaa, kuinka paljon energiaa saadaan tuotettua vuoden aikana suhteessa vuoden aikana käytettyyn energiaan. SPF-luku saadaan laskettua jakamalla lämpöpumpun tuottama energia sen kuluttamalla sähköenergialla. (10)

4 Käynnistysavustus asuntojen perusparantamiseen

Asuinkerrostalon energiatehokkuutta parantaessa voi hakea valtiolta käynnistysavustusta asuntojen perusparantamiseen. Vuodelle 2014 käynnistysavustuksien yhteissumma on enintään 100 miljoonaa euroa.

Avustusta voivat saada asunto-osakeyhtiöt, vuokrataloyhtiöt ja asumisoikeustalot. Avustuksen määrä voi olla enintään 10 prosenttia ARA:n (Asumisen rahoitus- ja kehittämisskeskus) hyväksymistä kustannuksista. Avustuksia voidaan myöntää muun muassa seuraaville toimenpiteille:

- putkiremontti
- ikkunoiden ja ulko-ovien uusiminen
- perustusten uusiminen
- yläpohjan ja katon uusiminen
- parvekkeiden uusiminen
- ilmanvaihtojärjestelmien uusiminen
- lämmitysjärjestelmien uusiminen
- hissin peruskorjaaminen. (11)

Poistoilmalämpöpumpun asentaminen kiinteistöön voidaan laskea ilmanvaihtojärjestelmän uusimiseksi ja lämmitysjärjestelmäkin uusitaan osittain PILP:iä (poistoilmalämpöpumppu) asennettaessa, joten poistoilmalämpöpumppujärjestelmää asennettaessa on syytä hakea käynnistysavustusta.

5 Talotekniikan historiasta ja korjausrakentamisesta Suomessa

5.1 Ilmanvaihdon kehitys koneelliseksi poistoilmanvaihdoiksi

Ennen varsinaisia ilmanvaihtojärjestelmiä ilma vaihtui rakennuksissa ruoanvalmistuksen ja lämmityksen palamisilman vedon kautta savuhormeihin ja korvausilma virtasi sisään rakenteiden eri vuotokohdista. 1800-luvulla pyrittiin siihen, että kerrostalohuoneistoissa olisi ikkunoita rakennuksen kahdella sivulla, jolloin huoneiston ilma voitiin vaihtaa läpituuletuksella.

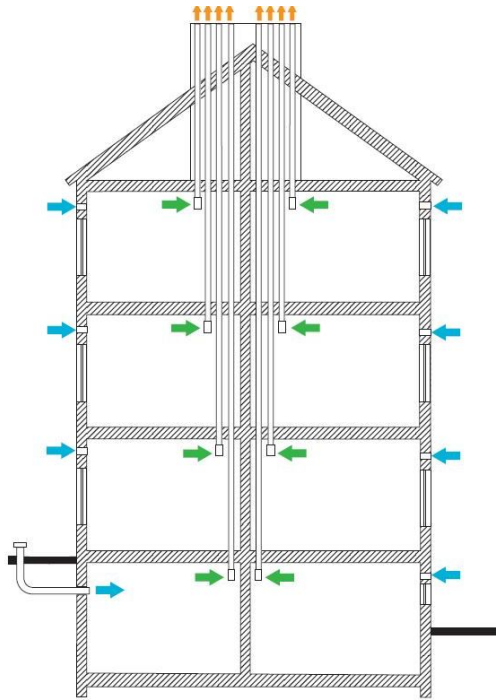
1880-luvulla kerrostalojen seiniin ruvettiin asentamaan korvausilma-aukkoja, mutta ilmanvaihto oli edelleen hyvin yksinkertainen. Vuonna 1926 Helsingin kaupungin rakennustarkastuskonttorin määräyksissä raitisilmaa vaadittiin makuuhuoneisiin, keittiöön ja palvelijahuoneeseen. Korvausilma-aukot olivat yleensä valurautaisia tai peltisiä säleikköjä ulkopuolella, ja sisällä oli valurautainen luukku tai säleikkö (kuva 7). 1920–30-luvuilla alettiin rakentaa tiilimuurattuja poistoilmahormeja, joilla johdettiin likaisista tiloista poistoilma kerrostalon vesikatolle. Samaan aikaan rakennettiin ikkunoiden alle rakoventtiileitä, jolloin sisään virrannut ilma lämpeni virratessaan lämmityspatterin yli. (12, s. 39.)



Kuva 7. Vanhanaikainen luukkumallinen korvausilmaventtiili. Ulkopuolella on valurautainen säleikkö (13).

Ensimmäinen puhallin Suomessa asennettiin 1880-luvulla Helsingin kirurgiseen sairaalaan. Puhallin oli höyrykäyttöinen. Koneellinen poistoilmanvaihto saatiin ensimmäisiin asuinkerrostaloihin 1940-luvulla ja 1950-luvulla yli 3-kerroksisiin asuinkerrostaloihin asennettiin lähes aina koneellinen poistoilmanvaihto. Vielä 1960-luvulla painovoimainen ilmanvaihto säilytti asemansa osittain, mutta viimeistään 1970-luvulla koneellinen poistoilmanvaihto alkoi olla käytetyin ilmanvaihtojärjestelmä asuinkerrostaloissa.

Painovoimainen ilmanvaihto perustui erilliskanavajärjestelmään, ja vielä 1950-luvun alussa koneellisessa poistossakin käytettiin paljon erilliskanavajärjestelmää. 1950-luvun lopulla yhteiskanavajärjestelmä yleistyi nopeasti, mikä lisäsi asuinkiinteistöjen asuinpinta-alaa, koska ilmanvaihtohormien tarve väheni. (12, s. 114.)



Kuva 8. Painovoimaisen erillispoistojärjestelmän periaate (13).

Kuvassa 8 on esitetty erillispoistojärjestelmän periaate, jossa korvausilma virtaa sisään ulkoseinien säleiköistä ja poistoilma johdetaan jokaiselta poistoilmapiisteeltä omassa hormissaan tai kanavassaan vesikatolle.

Koneellisessa poistoilmajärjestelmässä järjestelmän hyvän toiminnan ja ilmanlaadun kannalta oleellista on hyvin järjestetty korvausilman saanti. 1960- ja -70-luvun kerrostaloissa kuitenkin usein korvausilmaventtiileitä ei ole asennettu ollenkaan, jolloin tarvittava korvausilma on virrannut asuntoihin ikkunaraoista, rakenteista, postiluukuista ja pahimmissa tapauksissa viemäreistä.

Poistoilmahormit matalissa taloissa olivat alkuun pitkälti tiilistä tai erikoislaatoista rakennettuja, jolloin hormien palo- ja ääniominaisuudet olivat hyvät. Korkeammissa rakennuksissa käytettiin pitkälti levy- ja asbestielementtikanavia, koska tiilihormistot olisivat vaatineet runsaasti tilaa. Betonirakentamisen yleistymisen myötä myös hormit alettiin rakentaa betonista. Betonihormien kanavien valussa muotteina käytettiin muun muassa asbestielementti- ja pahvitorvia.

Kierresaumakanavien käyttö yleistyi runsaasti 1960-luvulla, kun peltikanavien laajempi teollinen valmistus yleistyi. Peltikanavien huonon paloneristävyyden takia kanavia jouduttiin välillä verhoamaan muun muassa betonilla. Peltikanavien ääneneristävyysominaisuudet ovat myös huomattavasti heikommät kuin rakenneaineisilla kanavilla. (12, s. 233.)

5.2 Patterilämmitys ja kaukolämpö Suomessa

Suomessa tiettävästi ensimmäinen asuinkerrostaloon asennettu keskuslämmitys asennettiin vuonna 1886 insinööri Robert Huberin taloon. Järjestelmä perustui höyryyn ja herätti kiinnostusta, mutta keskuslämmitysten rakentaminen ei silti merkittävästi yleistynyt. Aina 1910-luvulle asti Helsingissä yleisin lämmitysmuoto uusissa kerrostaloissa oli huonekohtainen uunilämmitys. 1910-luvulla vesikeskuslämmitys alkoi syrjäyttää uunilämmitystä, mutta silti vielä 1920-luvulla rakennettiin lämmitysuuneja Kallion ja Vallilan työväen asuntoihin.

Keskuslämmityksellä oli lukuisia etuja uunilämmitykseen verrattuna: kilpailukykyisyys rakentamiskustannuksissa, helppokäyttöisyys, tilansäästö huoneissa, mahdollisuus vähentää palvelijamenoja, parempi paloturvallisuus sekä alhaisemmat käyttökustannukset.

Aivan 1900-luvun alussa rakennettujen asuinkerrostalojen keskuslämmitysjärjestelmänä oli usein matalapainehöyrytys, jossa lämmön siirtämiseen käytettiin kuumaa höyryä. Yleisimmäksi keskuslämmitysjärjestelmäksi tuli pian matalapainevesilämmitys, jossa lämmön siirtämiseen käytettiin vettä. Veden kierto putkistoissa ja pattereissa perustui meno- ja paluuveden lämpötilaeron aiheuttamaan painoeroon, jolloin lämmin vesi nousi putkistoissa ylöspäin ja jäähtynyt vesi raskaampana painui putkistossa alaspäin. Tuohon aikaan verkoston veden lämpötilat olivat yleensä menovedellä 90 °C ja paluuvvedellä 60 °C. Tarvittaessa veden kiertoa tehostettiin sähköpumpulla.

Ennen toista maailmansotaa keskuslämmitysratkaisut olivat pääosin talokohtaisia, eli jokaisella talolla oli oma kattilahuone, polttoainevarasto, paisuntasäiliö sekä savupiippu. Suomen ensimmäinen koko asuinalueelle tarkoitettu alueellinen lämpökeskus oli Helsingin Olympiakylässä vuonna 1940.

Keskuslämmityspatterit sijoitettiin yleensä ikkunoiden alle syvennyksiin, ja yleisin patterityyppi oli valurautainen tai takorautainen pylväsradiaattori, joka koostui useista toisiinsa yhdistetyistä pystysuorista pylväistä. Ensimmäisten joukossa radiaattorien valmistamisen Suomessa aloitti Högfors vuonna 1902. 1930-luvulla pylväsradiaattorien rinnalle ilmestyivät nykyaikaisten radiaattorien kaltaiset paneeliradiaattorit. Muita käytettyjä radiaattorityyppejä olivat muun muassa ripaputkipatterit ja sileät putket. (12, s. 69.)

Suomessa ensimmäisenä kaukolämmön tuotannon aloitti Tapiolan Lämpö Oy ja Helsinki oli ensimmäinen kaupunki, joka teki päätöksen kaukolämmityksen aloittamisesta vuonna 1953. Vesikaukolämmitys aloitettiin Helsingissä vuonna 1957. Aluksi kuitenkin kaukolämmön leviäminen oli hidasta.

Energiakriisin seurauksena valtioneuvosto antoi päätöksen energiankäytön rajoituksista vuonna 1973, minkä seurauksena kaukolämmön merkitys kasvoi. 1980-luvulla kaukolämpöverkkoja laajennettiin ja 1990-luvulla kaukolämpö vakiintui taajama-alueiden lämmitysmuotona. (14, s. 25.)

5.3 Korjausrakentaminen Suomessa

Suomen nykyinen rakennuskanta kuluttaa noin 40 prosenttia Suomessa käytetystä energiasta ja aiheuttaa kolmanneksen hiilidioksidipäästöistä. Uudisrakentamisen vaikutus koko rakennuskannan energiankulutukseen ja päästöihin on hidas, joten siksi korjausrakentamisen merkitys on suuri muun muassa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä.

Vuosina 1960–1980 rakennetut lähiökerrostalot muodostavat merkittävän osan Suomen asuntokannasta, ja ne ovat myös energiatehokkuudeltaan huonoimmasta päästä. Useissa taloyhtiöissä linjasaneeraukset ja julkisivuremontit ovat ajankohtaisia, ja samassa yhteydessä on syytä harkita myös energiatehokkuuden parantamista. Näiden kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamisella olisi todennäköisesti nopein, kustannustehokkain ja suurin vaikutus koko Suomen energiakulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin. Suomessa on lähiökerrostalojen lisäksi runsaasti myös pientaloja, jotka muodostavat kolmasosan rakennuskannastamme ja joista syntyy kymmenesosa Suomen hiilidioksidipäästöistä.

Korjausrakentaminen on kallista, joten siinä ei kannata hätiköidä, sillä energiansäästömahdollisuudet ovat hyvin tapauskohtaisia. Joissakin kiinteistöissä jo lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien perussäädöillä ja laitevaihdoilla voidaan saada suuria säästöjä aikaan.

Aina korjaaminen ei kannata. Joissakin tapauksissa myös rakennuksen purkaminen voi olla ekologisesti järkevämpää, mutta asutussa kerrostalokiinteistössä usein hankalaa. Suomen Arkkitehtiliiton SAFA:n mukaan ekotehokkaat korjaushankkeet ovat jääneet kustannuksiltaan jopa alle puoleen vastaavan uuden talon rakentamiskustannuksista.

Energiatehokkuuden parantamiseen on lukuisia talo- ja rakennusteknisiä keinoja. Alla on lueteltu mahdollisia energiansäästöjä kiinteistön lämmitysenergian kulutuksesta eri keinoin:

- lämmitysjärjestelmän säätöjärjestelmän uusimisella 5–10 %
- patteriverkoston perussäädöllä 10–15 %
- ilmanvaihdon lämpöhäviöiden pienentäminen uusien ilmanvaihtoratkaisuin (mm. LTO) 20–30 %
- käyttöveden kiertojohtojen lämmöneristyksellä 10–20 %
- ikkunoiden vaihdolla 10–15 %
- ulkoseinien lisäeristyksellä 15–25 %
- yläpohjan lisäeristyksellä 10–15 %. (15)

Yllä esitetyt säästöpotentiaalit ovat kuitenkin hyvin tapauskohtaisia ja saattavat vaihdella runsaastikin eri kiinteistöjen välillä.

5.4 Lämpöpumput

Lämpöpumppu on vanha keksintö, jonka toiminta perustuu ranskalaisen fyysikon Sadi Carnot'n vuonna 1824 esittelemään termodynaamiseen kiertoprosessiin, johon perustuvan lämpöpumpun toimintaperiaatteen esitteli joitakin vuosia myöhemmin englantilainen fyysikko William Thomson. Ensimmäisiä lämpöpumppuja lämmityskäyttöön ruvettiin kuitenkin asentamaan rakennuksiin tietävästi vasta 1920-luvulla.

Lämpöpumpuista on yleensä kiinnostuttu vasta energiakriisien aikaan tai energiamääräysten tiukentuessa. Ensimmäisen kerran kohtalaisen laajaa käyttöä lämpöpumpuille oli toisen maailmansodan aikana Sveitsissä, joka kärsi hiilipulasta. Sodan jälkeen lämpöpumput jäivät kuitenkin unohduksiin ja niistä kiinnostuttiin uudelleen vasta toisen öljykriisin aikaan vuosina 1979–1980. Myös tuolloin kiinnostus loppui öljyn hinnan laskettua, mutta viime vuosina kiinnostus on jälleen herännyt energiamääräysten tiukentuessa ja energian hintojen noustua. (1, s. 27.)

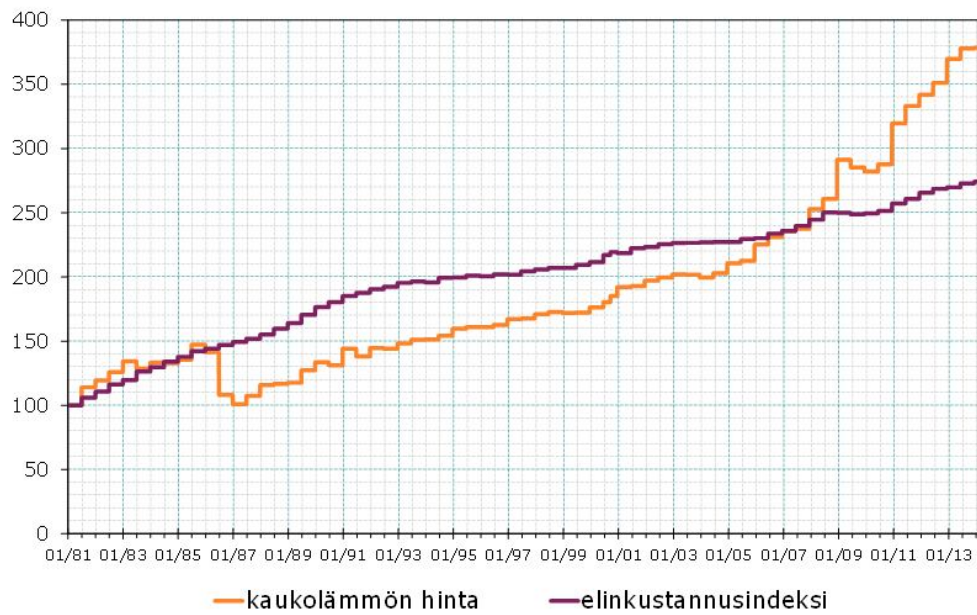
6 Energian hinnan kehitys Suomessa

6.1 Kaukolämpö

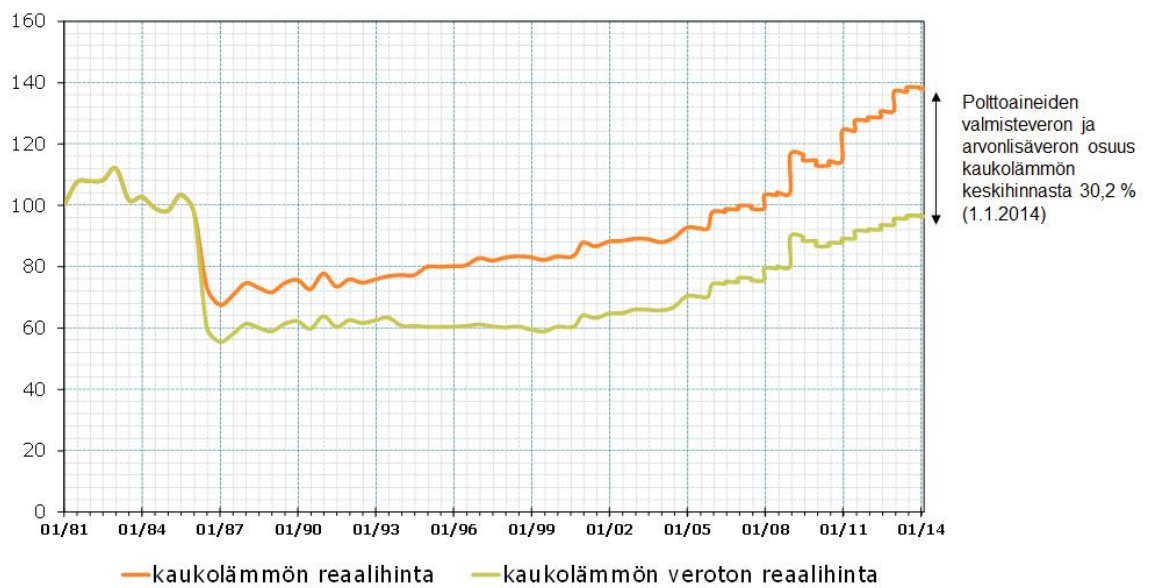
Kaukolämmön hinta Suomessa muodostuu kolmesta eri osasta: liittymismaksusta, tehomaksusta ja energiamaksusta. Kaukolämpöasiakas maksaa kaukolämmitykseen liittyessään liittymismaksun, jonka suuruus vaihtelee eri paikkakunnilla ja erikokoisissa kiinteistöissä. Liittymismaksu maksetaan vain kaukolämmitykseen liittyttäessä, joten sitä ei huomioida vanhan kaukolämmittävän kiinteistön lämmitysjärjestelmää saneerattaessa.

Varsinaiset käyttömaksut muodostuvat sopimustehoon tai sopimusvesivirtaan sidotusta tehomaksusta ja energiamaksusta. Energiamaksun suuruuteen vaikuttavat kaukolämpölaitoksen käyttämät polttoaineet ja lämmönhankinnan muuttuvat kustannukset. Noin 28 prosenttia kaukolämmön hinnasta on veroja.

Suurilla paikkakunnilla kaukolämpö tuotetaan yleensä energiatehokkaasti yhteistuotannossa sähkön kanssa ja kaukolämmitysjärjestelmä on suurempi kuin pienillä paikkakunnilla, mikä laskee kustannuksia suurilla paikkakunnilla suhteessa pieniin paikkakuntiin. Myös kaukolämpölaitoksen ikä, taajaman rakenne, investointien tehokkuus sekä laitoksen hoito ja omistajien tuottovaatimukset vaikuttavat hintatasoon. (16)



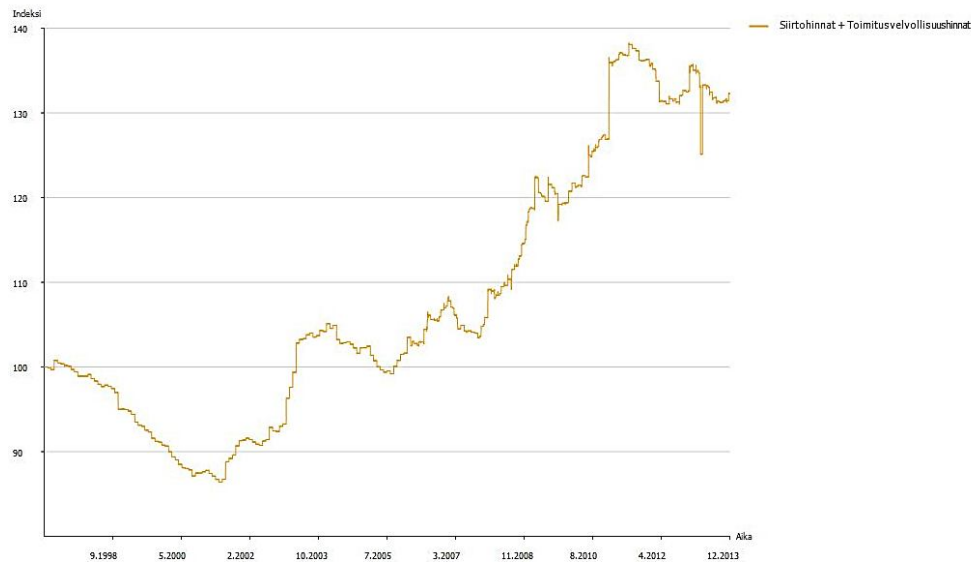
Kuva 9. Kaukolämmön keskihinnan kehitys vuosien 1981–2013 aikana (16).



Kuva 10. Kaukolämmön reaalihinnan kehitys vuosien 1981–2013 aikana (17).

Kuten kuvista 9 ja 10 huomataan, kaukolämmön hinta on kasvanut viime vuosina nopeampaa tahtia kuin ihmisten tulot. Hintojen nousuun etenkin vuoden 2013 aikana ovat vaikuttaneet verojen kiristyminen ja metsähakkeen kallistuminen sekä turvepula. (18)

6.2 Sähkö



Kuva 11. Sähkön verollisten reaalihintojen kehitys koko maassa vuosien 1998-2013 välillä (19).

Sähkön hinta muodostuu kuudesta eri muuttujasta, jotka ovat arvonlisävero, hankinta- ja jakeluverkkosiirtokulut, sähköverot, kantaverkkosiirto- ja sähkön myyntikulut. Kuten kuvasta 11 huomataan, sähkön hinta on noussut erityisesti vuodesta 2005 vuoteen 2012, ja suuri piikki tuli vuoden 2010 aikana, jolloin muun muassa sääolosuhteet ja Ruotsin ydinvoimalaitosten käyttöseisokit aiheuttivat hinnan nousua pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Vuonna 2011 verotusta kiristettiin runsaasti, mutta vuonna 2012 ja edelleen vuonna 2013 sähkön hinta on laskenut hieman. (20)

7 Poistoilmalämpöpumppu vanhassa kerrostalossa

Suomessa on noin 28 000 kerrostaloa, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto. Näissä kerrostaloissa energian kulutus koostuu merkittävältä osalta ilmanvaihdon lämpöhäviöistä. Ilmanvaihdon energiatehokkuuden merkittävään parantamiseen on periaatteessa kaksi keinoa: koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla ja vanhan poistoilmajärjestelmän parantaminen poistoilmalämpöpumpujärjestelmällä.

Poistoilmalämpöpumpun etu suhteessa koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon on sen halvempi hinta ja nopeampi asennus, jolloin asumismukavuus ei kärsi yhtä paljon.

Huonona puolena poistoilmalämpöpumpuissa voi pitää sitä, ettei kiinteistön sisäilmanlaatu kuitenkaan välttämättä parane, kuten käy saneerattaessa järjestelmä koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoiksi. (21)

Poistoilmalämpöpumppua suunniteltaessa vanhan kiinteistön yhteyteen tulee päättää, mitä poistoilmalämpöpumpulla lämmitetään, miten suurta tehoa tarvitaan ja miten suuren tehon poistoilmalämpöpumpulla voi tuottaa sekä minkälaisella järjestelmällä poistoilman lämmöntalteenotto toteutetaan.

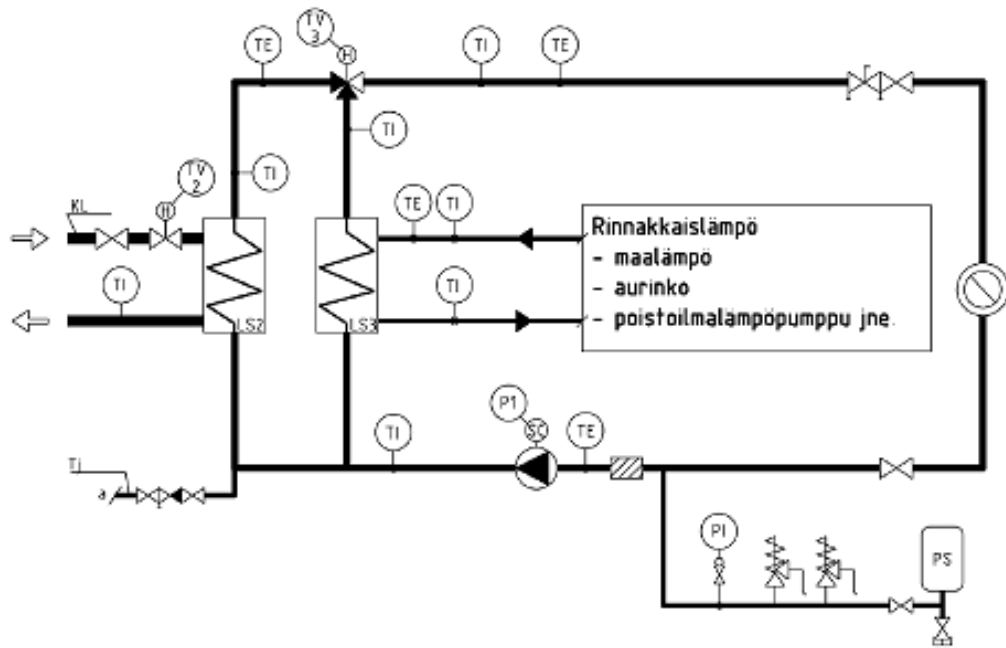
Yleensä poistoilmalämpöpumpuilla päädytään lämmittämään sekä lämmintä käyttövetä että lämmitysverkostoa, koska poistoilmalämpöpumpuilla ei pystytä lämmittämään vettä jatkuvasti yli 40-asteiseksi, jolloin esimerkiksi pelkän patteriverkoston menoveden lämmittäminen vanhoissa kiinteistöissä olisi pelkillä poistoilmalämpöpumpuilla kannattamatonta. Pääsääntöisesti poistoilmalämpöpumppuja käytetään kaukolämmön rinnalla, jolloin poistoilmalämpöpumpulla voi esilämmittää esimerkiksi patteriverkoston kiertoveden. Myös tuloilman lämmittäminen poistoilmalämpöpumpulla on mahdollista, mutta vanhoissa asuinkiinteistöissä ei yleensä ole koneellista tuloilmaa.

Parhaan COP-kertoimen poistoilmalämpöpumpulle saisi, kun PILP-järjestelmä kytkettäisiin lämmittämään pelkästään vesikiertoista lattialämmitystä, sillä lattialämmityksen kiertoveden lämpötila on huomattavasti alhaisempi kuin esimerkiksi lämpimän käyttöveden lämpötila. (22)

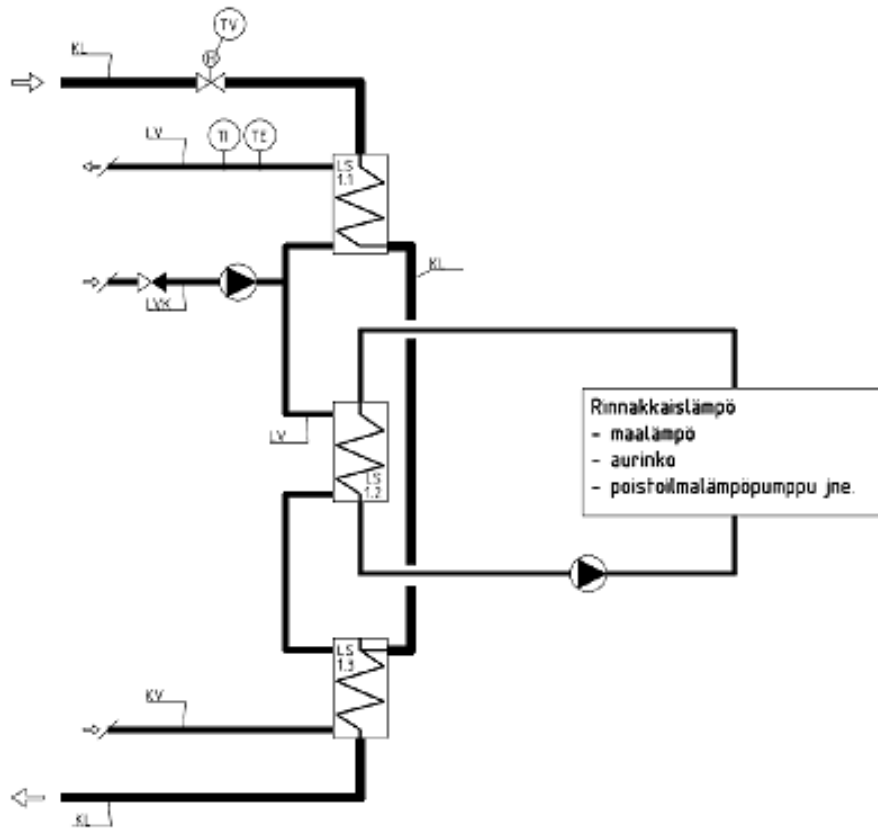
7.1 Kytkentävaihtoehdot

7.1.1 Suomalaiset käytännöt

Rakennusten kaukolämmityksen määräyksissä ja ohjeissa, K1:ssä, on esitetty esimerkkikytkennät esimerkiksi poistoilmalämpöpumpun kytkennälle kaukolämpökeskukseen (kuvat 12 ja 13).



Kuva 12. Poistoilmalämpöpumpun esimerkkikytkentä kaukolämpökeskuksen lämmityspuolelle (23).

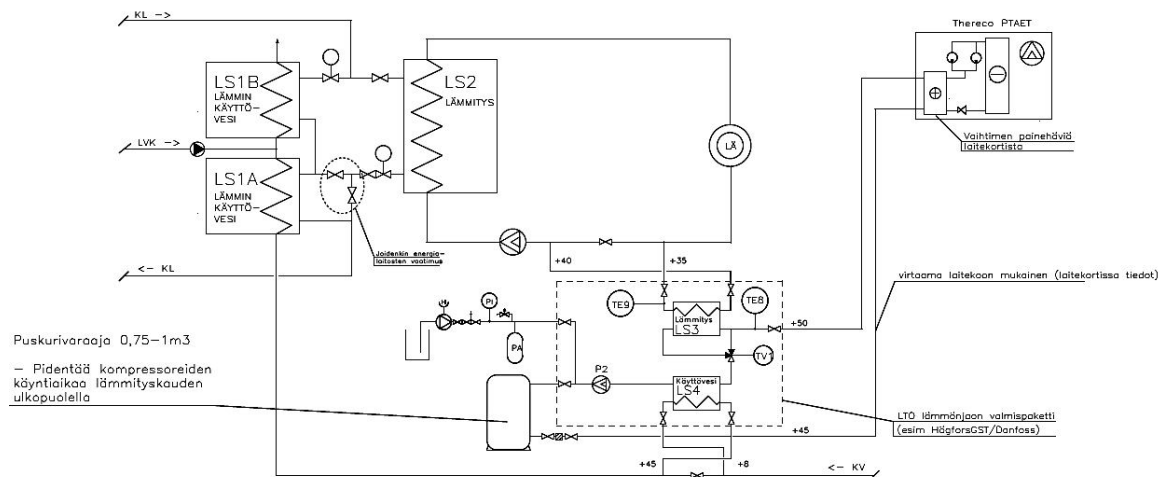


Kuva 13. Poistoilmalämpöpumpun kytkentä käyttöveden lämmitykseen (23).

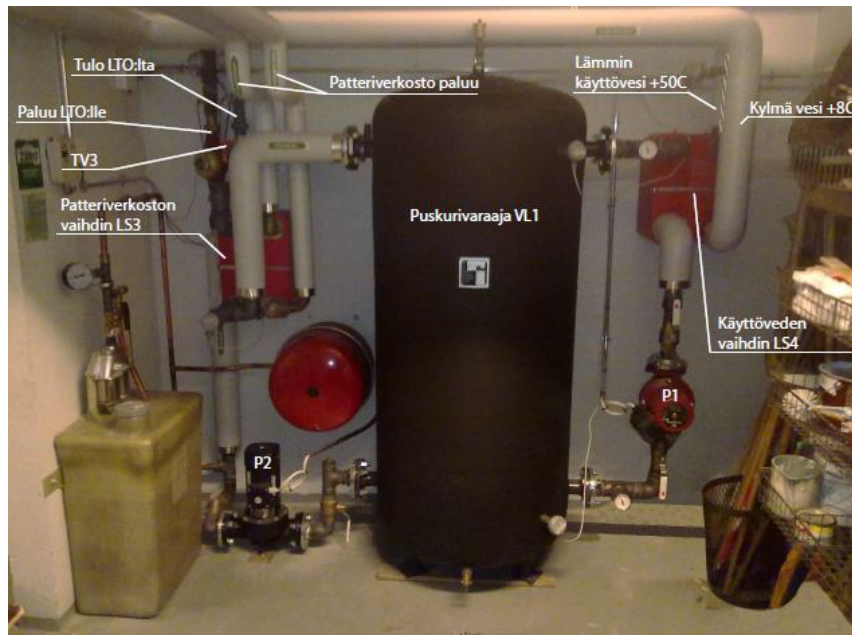
Poistoilmalämpöpumppujen valmistajat yleensä suosittelevat lämpöpumpun lauhduttimen sijoittamista lämmityspuolella lämmitysverkoston paluupuolelle, mutta kaukolämpö määräyksissä taas suositellaan lämpöpumpun lauhduttimen sijoittamista lämmitysverkoston meno- ja paluupuolien väliin. Syyksi tähän voi olettaa sen, että parhaimman hyödyn poistoilmalämpöpumpusta saa, kun laitteisto on sijoitettu suoraan esilämmittämään paluuverkoston vettä, jolloin poistoilmalämpöpumpusta saadaan paras hyöty. Kaukolämpöyhtiöt taas haluavat kaukolämpölaitokselle palaavan veden olevan mahdollisimman jäähtynyttä, jotta laitoksen hyötysuhde olisi mahdollisimman hyvä ja kaukolämmön myynti suurta. (22)

Lämpöpumppujen käyttö on kaukolämpöyhtiöille muutenkin ongelmallista, sillä suurimman osan vuodesta kaukolämmön myynti jää lämpöpumpun takia pieneksi, mutta talven kovimmilla pakkasilla lämpöpumput eivät selviä kiinteistön lämmitystarpeesta, jolloin kaukolämpöä tarvitaan runsaasti ja kaukolämpöverkko on erittäin kuormitettu.

Kuvassa 14 on esitetty poistoilmalämpöpumppuja kerrostaloihin myyvän Therecon kytentäesimerkki, jossa poistoilmalämpöpumpun lämmönsiirtimet (LS3 ja LS4) ja varaaja on kytketty esilämmittämään lämmintä käyttövettä ja lämmityksen paluuvettä.



Kuva 14. Therecon PTAET-järjestelmän kytentäesimerkki (24)

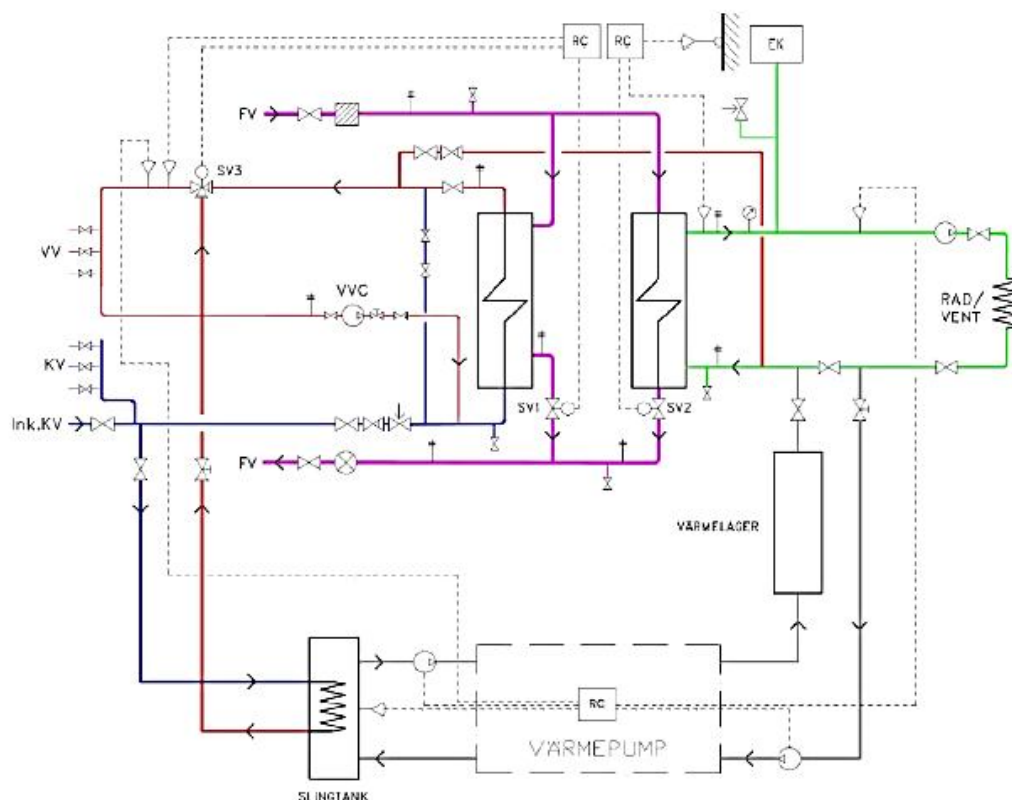


Kuva 15. Therecon järjestelmä kytkettynä kaukolämpöjärjestelmään (25).

Kuvassa 15 on Therecon järjestelmä kytkettynä kaukolämmönjakokeskukseen. Poistoilmalämpöpumpun höyrystin, kompressorin ja valtaosa muusta tekniikasta sijaitsevat kiinteistön vesikatolla.

7.1.2 Ruotsalainen kytkentämalli

Niin sanottu ruotsalainen kytkentämalli eroaa suomalaisista kytkentämalleista siten, että siitä puuttuu usein varaaja, jota suomalaiset lämpöpumppumyyjät pitävät tärkeänä osana lämpöpumppujärjestelmää, jotta pienen lämpimän veden kulutuksen aikaan saadaan laitteiston tuottama lämpö talteen. Ruotsalaisessa mallissa lämpöpumpun lauhduttimelta lähtevä vesi kiertää suoraan lämmitysverkoston tai käyttövesisäiliön vaiipan kautta takaisin lauhduttimelle. Tämä malli priorisoi käyttöveden lämmityksen 3-tieventtiin avulla.



Kuva 16. Tyypillinen ruotsalainen kytkentämalli (26).

Laura Lammert ammattikorkeakoulu Metropolista totesi insinööriytössään *Kaukolämpön ja lämpöpumpun yhdistämisen kytkentävaihtoehtoja* vuodelta 2011 (22) ruotsalaisista kytkentäohjeista seuraavaa:

Insinööriyön tarkoitus oli selvittää, kuinka voidaan kytkeä kaukolämpö ja lämpöpumppu toimivaksi kokonaisuudeksi Ruotsin kaukolämpöyhdistyksen tarjoamien ratkaisujen perusteella. Nämä kytkennät muutettiin suomalaiseen peruskytkentämuotoon. Selvittämällä niiden ohjausta ja toimintaa pääteltiin, että nämä esimerkit eivät ole aina parhaita ratkaisuja Suomen olosuhteisiin ja niihin pitäisi suhtautua varauksella. (22, s. 41.)

7.2 Poistoilmalämpöpumppuvalmistajia Suomen markkinoilla

Suomessa ainakin Thereco ja Naavatar tarjoavat kokonaisias poistoilmalämpöpumppujärjestelmiä mitoituksineen vanhoihin asuinkerrostaloihin. Seuraavissa osioissa on esitelty lyhyesti molemmat järjestelmät. Suomessa toimii myös muita valmistajia, joilta saa esimerkiksi lämmönsiirtimiä poistoilmalämpöpumppuihin: muun muassa Hydrocell toi-

mittaa harjalämmönsiirtimiä Naavatarin järjestelmiin ja Retermia toimittaa erilaisia LTO-huippuimureita.

7.2.1 Thereco

Therecon lämmöntalteenottojärjestelmistä erityisen sopiva vanhoihin kerrostaloihin on PTAET-sarja, jolla otetaan lämpöä talteen poistoilmasta ja saadulla energialla voi lämmitellä sekä kiinteistöä että käyttövettä. Valmistajan mukaan heidän poistoilmalämpöpumppujärjestelmällä saadaan vuositason 40–50 prosenttia lämmitysenergiaa kiinteistön kokonaistarpeesta. Takaisinmaksuajaksi valmistaja väittää 4–10 vuotta ja SCOP:ksi 4,0. (24)



Kuva 17. Therecon poistoilmapuolella sijaitseva höyrystin (25).



Kuva 18. Thereco PTAET 18.1, vesikatolle sijoitettava laitteisto (27).

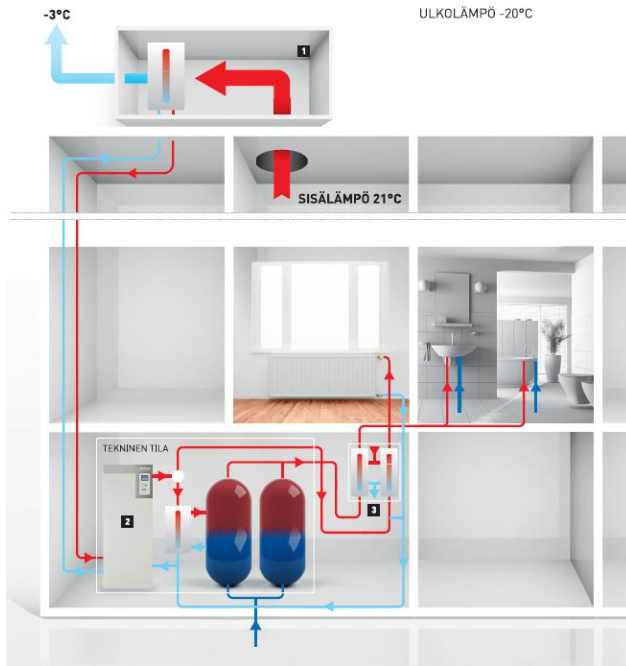
Kuvassa 17 näkyy Therecon höyrystin, joka on kuvattu kuvassa 18 näkyvän laitteiston sisältä. Kuvan 18 yksikkö sijoitetaan vesikatolle ja lämmönsiirtimet ja varaaja sijoitetaan sisään mahdollisimman lähelle kaukolämpölaitteistoa. Kytkevävaihtoehdot-luvussa 7.1.1 on esitetty PTAET-järjestelmälle sopiva kytkentä.

7.2.2 Naavatar

Naavatar on useiden suomalaisten yritysten yhteistyössä toteuttama järjestelmä, joka koostuu kattoyksiköstä, kaukolämmön lämmönjakokeskuksesta sekä lämmitysyksiköistä ja niiden putkituksista ja kaapeloinneista.

Kattoyksikössä on harjalämmönsiirrin, jonka läpi poistoilma ohjataan ja saadaan lämpö talteen. Poistoilma tulee lämmönsiirtimelle esimerkiksi 21-asteisena ja poistuu lämmönsiirtimeltä -3-asteisena. Lämmitysyksikkö käyttää kattoyksiköltä saatua energiaa patteriverkostoa ja käyttövesiverkostoa varten. Lämmitysyksikköön kuuluu lämpöpumpun lisäksi kaksi 500 litran käyttövesivaraajaa. Lämpöpumpun kompressorilta lämpöenergia johdetaan kaukolämpöpaketin lämmönsiirtimien avulla patteripiiriin ja käyttöveiteen. Jos järjestelmän tuottama energia ei riitä, lisäenergia otetaan esimerkiksi kaukolämmöstä. (29)

Kuvassa 19 on esitetty Naavatar-järjestelmän periaate, jossa kiinteistön vesikatolle sijoitetaan harjalämmönsiirrin ottamaan lämpöä talteen poistoilmasta ja valtaosa PILP-järjestelmän tekniikasta on sijoitettu tekniseen tilaan. Kuvassa 20 näkyy harjalämmönsiirrin asuinkerrostalon vesikatolla.



Kuva 19. Naavatar-järjestelmän periaate (28).



Kuva 20. Naavatar-järjestelmässä käytetään Hydrocellin lämmönsiirtimiä (kuvassa vesikatolla) (29).

7.3 Verkostojen lämpötilat

Poistoilmalämpöpumpulla, kuten muillakin lämpöpumpuilla, lämmöntuotto on hyvin rajallinen verrattuna esimerkiksi kaukolämpöön tai öljylämmitykseen, joten vanhoissa kiinteistöissä poistoilmalämpöpumpun hyöty pienenee kiinteistön lämmityksessä, mitä kylmemmäksi ulkolämpötila muuttuu ja mitä korkeammat lämpötilat patteriverkostossa kulkee. Therecon PTAET-järjestelmän suunnitteluohjeissa mainitaan seuraavasti (30):

Laitteisto toimii suora-höyrysteisesti, eli poistoilma kulkeutuu laitteessa olevan höyrystinpatterin läpi jossa kylmäaine höyrystyy. Höyry paineistetaan kompresso-reilla ja tuotettu lämpö siirretään levylämmönvaihtimella veteen. Lämmitetyllä vedellä lämmitetään patteriverkoston paluupuolta sekä kiinteistöön tulevaa kylmää käyttövedtä. Suora-höyrysteisyys takaa korkean höyrystymislämpötilan (+1,5...3,5°C) jonka ansiosta hyötysuhde (COP) on vuositasolla hyvin korkea, jopa yli 4. Jäteilman lämpötila on poistoilman kosteudesta ja lämpötilasta riippuen +2...+5.

Korkea höyrystymislämpötila (korkea LTO-patterin lämpötila) ehkäisee myös tehokkaasti kondenssiveden syntymistä. Laite on varustettu kondenssipoistoilla jotka liitetään mahdollisuuksien mukaan sopivaan kondenssiveden poistumistiehen joka varustetaan vesilukolla ja saattolämmityksellä. Toimintaa seurattaessa kondenssiveden määrä on ollut kohtalaisen pientä ja sitä tapahtuu pääasiassa lauhalla säällä. Seurantakohteissa, ulkolämpötilan ollessa pakkasen puolella pieni kondenssimäärä on jäänyt laitteen pohjalle. Tämä ei ole kuitenkaan haitannut laitteen toimintaa. Suositellaan kuitenkin kondenssiveden johtamista pois laitteesta.

LTO-piirin neste lämpenee laitteella n. 3-7 astetta riippuen ilmanvaihdon tehosta sekä poistoilman ja laitteelle tulevan veden ominaisuuksista. Tämä tarkoittaa sitä että näistä asteista on lämmönjaossa päästävä eroon jotta ollaan onnistuttu tavoitteessa. Jos kaikesta tuotetusta lämmöstä ei lämmönjaossa päästä eroon, alkaa LTO -piirin nesteen lämpötila nousemaan kunnes se saavuttaa säätöarvon ja kompressorit(t) kytkeytyvät pois päältä. Lämmönjaon vaihtimia mitoitettaessa on siis syytä suunnitella vaihtimet siten että tuotetusta lämmöstä päästään varmasti eroon lämmityskauden aikana. Lämmityskauden ulkopuolella kompressorit ovat poissa päältä ajoittain, lämmityskauden aikana ne käyvät jatkuvasti olettaen että tuotetusta lämmöstä päästään eroon lämmönjaossa.

LTO-laitteella lähtevän veden lämpötila on maksimissaan +57 astetta. Sitä korkeammat lämpötilat kuormittavat laitteistoa ja hyötysuhde huononee radikaalisti tehden toiminnasta kannattamatonta. Tämän vuoksi patteriverkoston sekä käyttöveden loppulämpö otetaan aina kaukolämmöstä. LTO-piiri-patteriverkoston vaihtimen mitoitus on noin 50-45 (ensiö) patteriverkoston lämpötilojen ollessa 70-40 (toisio). Jos patteriverkon lämpötilat ovat 80-60 (toisio), on syytä mitoittaa LTO -piirin vaihdin hieman korkeammalle lämpötilalle 55-50 (ensiö).

Jos käyttöveden esilämmityksessä käytetään vaihdinta, on sen mitoituksen oltava sellainen että kesäaikaan saadaan LTO-piirin jäähtymä mahdollisimman hyväksi. Sopiva mitoitus LTO -piirille on tässä tapauksessa 50-25 (ensiö) riippumatta patteriverkoston lämpötiloista. Toisiopuolelle sopiva mitoitus on 10-40. Mitoi-

tusvirtaama ei ole kuitenkaan koskaan todellinen, joten käyttöveden lämpötila nousee hyvin lähelle LTO -piirin lämpötilaa pienemmälläkin mitoituksella (vaihtimella).

Patteriverkostoa lämmitetään ensisijaisesti LTO -vaihtimella, kun sen teho ei riitä, saadaan lisätehoa päälämmitysmuodosta. Käyttövedtä esilämmitetään aina tästä ylijäävällä energialla. Laitteisto vaatii tietyn virtaaman LTO -piiriin. Pieni Δt takaa korkean hyötysuhteen. Virtaamat löytyvät laitekorteista.

Usein vanhoissa kiinteistöissä patteriverkoston menolämpötila on 80 °C ja paluulämpötila 50–60 °C, jolloin talven kovilla pakkasilla poistoilmalämpöpumpulla ei voida lämmitää patteriverkostoa merkittävästi.

7.4 Poistoilmalämpöpumpun energialaskenta

Poistoilmalämpöpumpun kannattavuuteen vaikuttavat merkittävästi lämmitysverkoston lämpötila, poistoilman tilavuusvirta ja lämpötila, miten poistoilmalämpöpumppua käytetään sekä Suomen ilmasto-olosuhteet.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 on esitetty ohjeet lämpöpumppujärjestelmien energialaskentaan. D5:ssä esitetään ohjeet lämpöpumppujen yksinkertaiseen energianlaskentamenetelmään sekä yksityiskohtaiseen laskentamenetelmään, joilla voidaan laskea lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun ostoenergiakulutus, tuotettu lämmitysenergia sekä tarvittava lisälämmitysenergia. Molemmat menetelmät on tarkoitettu lämpöpumppujen energialaskentaan eikä niillä tehdä lämpöpumppujen tehomitoituksia. (10)

7.5 Yksinkertainen laskentamenetelmä

Lämpöpumppujen yksinkertaista laskentamenetelmää voidaan käyttää lämpöpumppujen energialaskentaan, mutta sillä ei voi tehdä lämpöpumppujen tehomitoitusta. Yksinkertaisella laskentamenetelmällä voidaan laskea lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergian kulutus, lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia sekä tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisäenergia. Menetelmää voidaan käyttää myös, jos lämpöpumppua käytetään lisäksi ilmanvaihdon lämmityk-

seen, jolloin ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lisätään tilojen lämmitysenergian tarpeeseen ja ilmanvaihto lasketaan osana tilojen lämmitystä.

Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan lämpöpumpun tuottaman tilojen tai käyttöveden lämmitysenergian sekä SPF-luvun avulla. SPF-luvut ovat vuoden keskimääräisiä lämpökertoimia, joita voidaan käyttää vain silloin, kun energiankulutus lasketaan koko vuoden lämmöntarpeesta. Laskennassa oletetaan poistoilmalämpöpumppujen lämmittävän tiloja sekä käyttövettä samanaikaisesti. Jos näin ei ole, on käytettävä tapauskohtaisempaa laskentamenetelmää. (10)

7.5.1 Poistoilmalämpöpumpun tuottama lämmitysenergia

Poistoilmalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian osuus voidaan arvioida taulukon 1 avulla, mikäli tilojen lämmitysenergian kulutus $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ tunnetaan. Taulukon 1 avulla voidaan myös arvioida poistoilmalämpöpumpun jäteilman lämpötilan sekä SPF-luvun vaikutus lämpöpumpulla tuotettavan lämmitysenergian osuuteen. Lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus voidaan arvioida taulukon 1 avulla määritettävän lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian osuuden avulla. Lämpöpumpun tuottama lämpöenergian osuus on lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian Q_{lp} ja rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian yhteenlasketun tarpeen $Q_{\text{lämmitys, tilat, LKV}}$ suhde, kun lämpöpumppu lämmittää sekä tiloja että käyttövettä. Suureiden suhdetta $Q_{\text{lp}}/Q_{\text{lämmitys, tilat, LKV}}$ kutsutaan suhteelliseksi lämpöenergiaksi.

Taulukko 1. Poistoilmalämpöpumpun tuottama osuus tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta lämpöpumpun SPF-luvun, tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämpöenergian tarpeen ja jäteilman lämpötilan funktiona.

$Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, lkv}}$ kWh/m ² a	$Q_{\text{LP}} / Q_{\text{lämmitys, tilat, iv, lkv}}$							
	SPF = 2,0				SPF = 3,0			
	$T_{\text{jäte}} -3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 1^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 5^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} -3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 1^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 3^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{jäte}} 5^{\circ}\text{C}$
100	0,99	0,95	0,90	0,84	0,94	0,86	0,80	0,74
150	0,82	0,72	0,66	0,60	0,70	0,61	0,56	0,51
200	0,66	0,56	0,51	0,46	0,55	0,47	0,43	0,39
250	0,55	0,46	0,41	0,37	0,45	0,38	0,35	0,31

Tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisälämmityksen energiankulutus voidaan laskea kaavoilla 3 ja 4, kun käytetään taulukossa 1 esitettyjä lämpöpumpun suhteellisen energian arvoja.

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = \left(\frac{1-Q_{lp}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}} \right) Q_{\text{lämmitys,tilat}} \quad (3)$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ tilojen lämmitysenergian kulutus, kWh

Jos lämpöpumpua käytetään lisäksi ilmanvaihdon tuloilman lämmitykseen, lisätään ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus kaavaan 3.

Käyttöveden lämmityksen energiankulutus lasketaan kaavalla 4:

$$Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} = \left(\frac{1-Q_{lp}}{Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}} \right) Q_{\text{lämmitys,LKV}} \quad (4)$$

$Q_{\text{lämmitys, LKV}}$ käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh

Lämpöpumpulla tuotettava tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia lasketaan ottamalla lisälämmitykseen tarvittava energiankulutus huomioon (kaavat 5 ja 6).

$$Q_{lp,\text{lämmitys,tilat}} = Q_{\text{lämmitys,tilat}} - Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} \quad (5)$$

$Q_{lp, \text{lämmitys, tilat}}$ lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ tilojen lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$ tilojen lisälämmitysjärjestelmien energiankulutus, kWh

$$Q_{lp,\text{lämmitys,LKV}} = Q_{\text{lämmitys,LKV}} - Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} \quad (6)$$

$Q_{lp, \text{lämmitys, LKV}}$ lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys, LKV}}$ käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}}$ käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus, kWh

Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutukset lasketaan rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. (10)

7.5.2 Poistoilmalämpöpumpun ostoenergiankulutus

Kun lasketaan lämmityksen sähköenergiankulutusta, lämpöpumppu otetaan huomioon vain sen ajanjakson osalta, jolloin lämpöpumppua käytetään. Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus voidaan laskea kaavalla 7.

$$W_{lp} = \frac{Q_{lp,lämmitys,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{lp,lämmitys,LKV}}{SPF_{LKV}} \quad (7)$$

SPF_{tilat} lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä

SPF_{LKV} lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä

Kaavassa 7 käytetään taulukon 2 arvoja, mikäli ei ole tarkempaa tietoa. Taulukkoa 2 käytettäessä poistoilman lämpötilan tulee olla 21 °C. Mikäli lämpöpumpulta lähtevän poistoilman lämpötila poikkeaa taulukon 2 arvoista, tulee SPF-luku laskea yksityiskoh-
taisella menetelmällä.

Taulukko 2. Poistoilmalämpöpumpun tilojen ja lämmityksen SPF-lukuja. (10)

Poistoilmalämpöpumppu	SPF-luku
Jäteilman min. lämpötila	
-3	2,4
+1	2,1
+3	2
+5	1,9

Tilojen ja käyttöveden SPF-luvut lasketaan kaavoilla 8 ja 9.

$$SPF_{tilat} = \frac{Q_{lp,lämmitys,tilat}}{W_{lp,tilat} + W_{apu,tilat}} \quad (8)$$

$Q_{lp,lämmitys,tilat}$ lämpöpumpun tuottama tilojen vuotuinen lämmitysenergia, kWh

$W_{lp,tilat}$ lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen lämmityksessä, kWh

$W_{apu,tilat}$ lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus, joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, kWh

$$SPF_{LKV} = \frac{Q_{lp,lämmitys,tilat}}{W_{lp,tilat} + W_{apu,tilat}} \quad (9)$$

$Q_{lp,lämmitys,LKV}$	lämpöpumpun tuottama vuotuinen lämmitysenergia, kWh
$W_{lp,LKV}$	lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus käyttöveden lämmityksessä, kWh
$W_{apu,LKV}$	lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus, joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen arvoihin, kWh

Koko lämpöpumpun ja tilojen sekä käyttöveden lämmityksen yhteinen SPF-luku määritellään kaavan 10 avulla.

$$SPF_{tilat,LKV} = \frac{Q_{lp,lämmitys}}{W_{lp} + W_{apu}} \quad (10)$$

$Q_{lp,lämmitys}$	rakennuksen tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergian kulutus, joka voidaan tuottaa lämpöpumpulla, kWh
W_{lp}	lämpöpumpun vuotuinen sähkönkulutus tilojen ja käyttöveden lämmityksessä, kWh
W_{apu}	lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus (tilat ja LKV), joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen arvoihin, kWh

Apulaitteiden sähkönkulutus voidaan laskea kaavalla 11.

$$W_{apu} = P_{apu} \Delta t \quad (11)$$

P_{apu}	lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, joka ei sisälly lämpökertoimen arvoon, kW
Δt	apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla, h (10)

7.6 Yksityiskohtainen laskentamenetelmä

Yksityiskohtainen laskentamenetelmä on yksinkertaista laskentamenetelmää tarkempi, ja sitä voidaan käyttää, kun lämpöpumpun ominaisuudet tunnetaan tarkemmin ja siitä on tehty SFS-EN 14511-3 -standardin mukaiset mittaukset. Laskenta voidaan suorittaa tulojen tai käyttöveden lämmitykseen käytettäville lämpöpumpuille tai lämpöpumpuille, jotka lämmittävät sekä tiloja että käyttövettä. Tulokset voidaan laskea tietyllä ajanjaksolle tai koko vuodelle. (10)

Tarkemmat ohjeet yksityiskohtaiseen laskentamenetelmään ovat Lämpöpumppujen energialaskentaoppaassa.

8 Poistoilmalämpöpumpuilla saavutettuja tuloksia vanhoissa kerrostaloissa

Tässä osiossa on tarkoitus käydä läpi, minkälaisiin tuloksiin jo valmistuneet opiskelijat ovat päässeet insinööritoissaan poistoilmalämpöpumppujen energiansäästöä, kustannuksia ja järjestelmän kannattavuutta koskevissa mittauksissaan ja laskennoissaan.

8.1 Energiansäästö poistoilmalämpöpumpuilla kaukolämmitteisissä kerrostaloissa

8.1.1 Insinööritö 1

Ari Matilainen tutki Mikkelin ammattikorkeakoululle vuonna 2013 tekemässään insinööritönsä *Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen vanhassa kerrostalossa* (7) erään HOASin (Helsingin seudun opiskelija-asuntosäätiö) Vantaalla sijaitsevan kerrostalokiinteistön poistoilmalämpöpumpun kannattavuutta. Hänen kohteensa oli vuonna 1978 rakennettu opiskelijoiden asuinkerrostalo, jossa oli yhteensä 89 huoneistoa. Kiinteistö oli kaukolämpöverkkoon liitetty ja patteriverkoston lämpötilat olivat 80/50 °C ja kaukolämmön sopimusteho 450 kW.

Matilaisen kohteessa kerättiin tyypillisesti noin 21–22 °C:n lämpöistä poistoilmaa, joka laskettiin –3–2 °C:n lämpöön ja lämmöntalteenottopatterille tulleen nesteen lämpötila oli 0 °C:n tasolla. Lämpöpumpulla tuotettu energia siirrettiin energiavaraajiin. Käyttö-

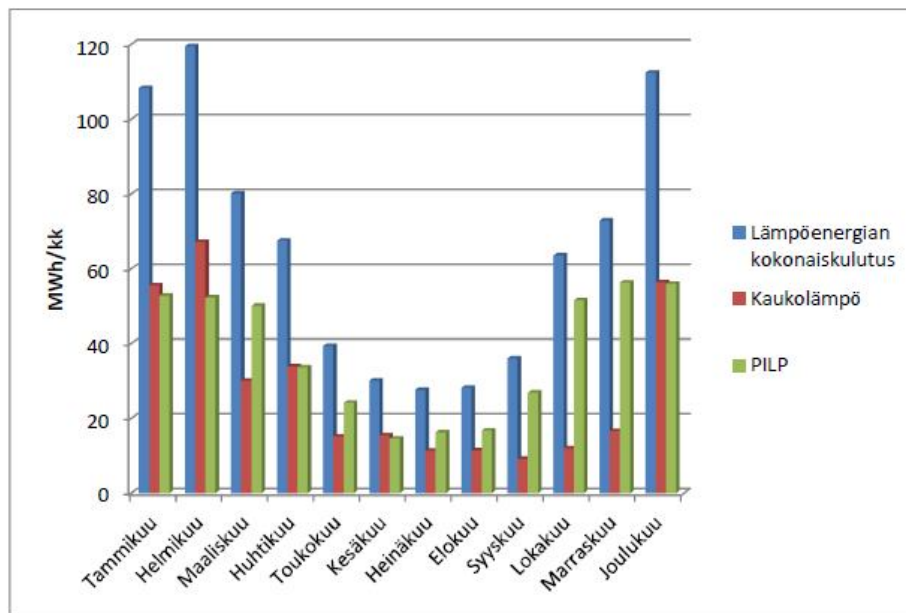
vesivaraajaan siirrettiin pumppujen tulistuslämpö ja rinnakkain kytkettyihin lauhdevaaraajiin johdettiin pumppujen lauhdelämpö.

Lämpöpumppulaitteisto oli liitetty olemassa olevaan kaukolämpölaitteistoon siten, että ensisijaisesti hyödynnettiin poistoilmalämpöpumpuilla tuotettua energiaa ja vain tarvittaessa otettiin käyttöön kaukolämpöä. Käyttöveden lämmittämisen tarvittavan lämpöiseksi tarvittiin joka tapauksessa kaukolämpöä, koska poistoilmalämpöpumppu ei kyennyt tuottamaan yli 52 °C:n lämpöistä vettä. Lämpöpumppujen toiminta oli säädetty automatiikalla niin, että pumput lähtivät päälle ainoastaan silloin kun niiden yhtäjaksoinen käyntiaika oli noin 30 minuuttia.

Laitteisto oli asennettu kiinteistöön vuoden 2011 loppupuolella, ja mittaustulokset olivat vertailukelpoisia huhtikuusta 2012 lähtien. PILP-laitteiston käyttöönotto nosti kiinteistön sähkön kokonaiskulutusta. Matilaisen mittauksissa huomattiin sähkön kokonaiskulutuksen kasvaneen 40 prosenttia vuosien 2011 ja 2012 välillä. Laitteistolla kyettiin tuottamaan kuukausittain noin 15–56 MWh lämpöenergiaa, mikä on vastannut kuukausittaisella noin 44–81 prosenttia koko rakennuksen lämpöenergian tarpeesta. Suurimmillaan PILP-laitteistolla tuotetun lämpöenergian osuus oli ollut loka-marraskuussa, kun lämpöenergian tarve on ollut riittävä PILP-laitteiston käyttämiseen täydellä teholla mutta lämmitystarve on ollut silti suhteellisen alhainen.

Myös kesäaikaan on ollut tarvetta käyttää kaukolämpöä, sillä poistoilmalämpöpumppulaitteisto ei ole kyennyt tuottamaan riittävän lämmintä käyttövettä ja käyttöveden niin sanottu priimaus on pitänyt tehdä kaukolämmöllä. (7)

Kuvassa 21 on kuvaaja Matilaisen insinööritoimistosta, missä on esitetty lämpöenergian kulutuksen jakautuminen kaukolämpöön ja PILP-laitteistolla tuotettuun lämpöenergiaan vuonna 2012.



Kuva 21. Lämpöenergian kulutuksen jakautuminen kaukolämpöön ja PILP-laitteistolla tuotettuun lämpöenergiaan vuonna 2012 Matilaisen insinööriyön mukaan (7, s. 58).

8.1.2 Insinööriyö 2

Jarkko Lukander Satakunnan ammattikorkeakoulusta tutki insinööriyössään *Poistoilmalämpöpumppu asuinkerrostalon lämmön talteenotossa* (31) vuonna 2013 poistoilman lämmön hyödyntämistä asuinkerrostaloissa poistoilmalämpöpumpuilla. Hänen oli tarkoitus tutkia aiheeseen liittyvää aineistoa ja tehdä esimerkkilaskentaa olemassa olevaan Porissa sijaitsevaan asuinkerrostaloon, johon ei ollut vielä asennettu poistoilmalämpöpumppua. Kiinteistöön oli tarkoitus asentaa poistoilmalämpöpumppu lämpimän käyttöveden lämmitykseen, ja kohde oli liittynyt kaukolämpöverkkoon.

Laskennassa käytetyn kiinteistön lämpimän käyttöveden energian vuotuinen kulutus oli 144 473 kWh, lämmityksellä 586 914 kWh ja sähkön kulutus oli 130 305 kWh. Lukander laski työssään, että poistoilmalämpöpumpulla saatava energia on 441 504 kWh ja talteenotettava teho 50,4 kW. Poistoilmalämpöpumpun pitäisi laskelmien mukaan kasvattaa sähkön vuotuisia kustannuksia 4 902 euroa. Poistoilmalämpöpumpulla päädyttiin lämmittämään lämmintä käyttövettä. (31)

8.1.3 Insinööritö 3

Tero Huuhtasen insinööritöissä *Poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistössä* (32) (2012) vertailtiin poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten eroja lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tuottamisessa kaukolämmön rinnalla. Hän vertaili eri olemassa olevia kerrostalokiinteistöjä, joista osassa oli käytössä PILP-järjestelmä ja osassa aurinkokeräinjärjestelmä.

Laskennassaan Huuhtanen pääsi siihen tulokseen, että toisessa kiinteistössä on mahdollista säästää PILP-laitteistolla 8670 euroa vuodessa ja toisessa 8 627 euroa vuodessa sisältäen sähkön kulutuksen ja kaukolämmön kustannussäästöt. (32)

8.1.4 Insinööritö 4

Tuomas Kankkunen tutki insinööritöissään *Palvelurakennuksen lämpöpumppu lämmönlähteenä poistoilma tai ulkoilma* (33) (2012) Mäntsälässä sijaitsevaa palvelutaltoa, johon oli tarkoitus asentaa joko ilma-vesilämpöpumppu tai poistoilmalämpöpumppu. Kyseinen rakennus oli liitetty kaukolämpöön ja käytössä oli energian kulutustiedot vuosilta 2008–2011.

Kankkunen laski Naavatar-järjestelmällä saatavat teoreettiset säästöt: poistoilmalämpöpumppu olisi tuottanut energiaa vuodessa 132 MWh ja sähkön kulutus olisi noussut 42,25 MWh:lla vuodessa. Nettosäästö olisi siis ollut 90,75 MWh/a. (33)

8.2 Kannattavuus

Poistoilmalämpöpumpun kannattavuutta vanhoissa kerrostaloissa voi pohtia PILP-järjestelmän takaisinmaksuajalla, eli kuinka kauan järjestelmän tuottamilla säästöillä kestää maksaa investointi- ja huoltokustannukset takaisin.

Matilainen, Lukander, Huuhtanen ja Kankkunen olivat insinööritöissään määritelleet teoreettiset takaisinmaksuajat poistoilmalämpöpumpuille vanhoissa kerrostaloissa. Tulee muistaa, että takaisinmaksuajan laskentaan vaikuttavat oletetut energiahinnat, korot, oletetut huoltokustannukset ynnä muut seikat, joiden muuttumista tulevaisuudessa ei voi etukäteen tietää.

Matilainen luetteli työssään teoreettisia takaisinmaksuaikoja (7):

Jos lasketaan pelkästään lämmitysenergiakustannussäästöjen avulla PILP-investoinnin korotonta takaisinmaksuaikaa vuoden 2013 hinnoilla ja olettaen, että laitteiston investointikustannukset olisivat joko 140 000 € tai 119 000 €, takaisinmaksuajat olisivat 12 vuotta ja 10,2 vuotta. Jos kaukolämmön tilaustehoa alennettaisiin PILP-laitteistolla saavutetun enimmäislämmöntuotantotehon, noin 90 kW mukaisesti 360 kW:iin, alenisi takaisinmaksuaika jälkimmäisessä tapauksessa 8,9 vuoteen. Jos tilaustehoa voitaisiin pudottaa esim. 250 kW:iin, jota alhaisempia ovat olleet esim. vuoden 2012 suurimmat tuntikohtaiset kaukolämmön käyttötehot, kuten myös esim. tilanne myös v. 2013 maaliskuun loppuun mennessä, laskisi koroton takaisinmaksuaika puolestaan 7,7 vuoteen.

--

Laskettaessa kannattavuutta investoinnin takaisinmaksuajan menetelmällä takaisinmaksuaika olisi ilman energiatukea ja KL-tilaustehon alentamista v. 2013 hinnoilla reilut 15 vuotta. Investoinnin kannattavuuden raja tulee vastaan, mikäli joku seuraavien muuttujien arvoista muuttuisi edellä mainitussa tapauksessa seuraavaan arvoon:

- korkokanta noin 5 %, tai
- laitteiston investointikustannukset olisivat noin 170 000 €, tai
- käyttöikä noin 15,5 vuotta.

Laskelmissa ei ole toisaalta huomioitu energian hinnan oletettu kohoamista. Jos esim. kaukolämmön ja sähkön hinnat nousevat samaa tahtia, kasvattaa se PILP-laitteistoinvestoinnin kannattavuutta: jos sähkön ja kaukolämmön hinnat olisivat esim. 10 €/MWh laskennassa käytettyjä v. 2013 hintoja kalliimmat, kasvaisi PILP-laitteiston avulla saavutettava kustannussäästö vuositasona yli 1 000 euroa.

Lukander perusti takaisinmaksuaikansa laskennan laskettuun teoreettiseen poistoilmalämpöpumpun tuottamaan säästöön. Hän laski, että hankintakustannuksen ollessa 50 000 euroa ja kaukolämmityksestä säästettäessä 5 516 euroa vuodessa takaisinmaksuajaksi tulee 9 vuotta. (31)

Huuhtanen laski takaisinmaksuajaksi toiselle PILP-kiinteistölle 5 vuotta ja toiselle 6 vuotta. Laskennassa oli oletettu PILP-laitteiston investointikustannukseksi 50 000 euroa. (32)

Kankkunen määrittä teoreettisessa laskennassaan takaisinmaksuajaksi poistoilmalämpöpumpulle vanhusten palvelutalossa 13,2 vuotta. Takaisinmaksuaikaa pidensi muun muassa patteriverkoston korkeat toimintalämpötilat, jotka olivat haasteelliset poistoil-

malämpöpumpulle. Huomattavaa on, että Kankkunen vertasi insinööriyössään poistoilmalämpöpumppua ilma-vesilämpöpumppuun, ja hän pääsi laskennassaan ilma-vesilämpöpumpulla 3,3 vuoden takaisinmaksuaikaan. Yhtenä syynä tähän oli se, että ilma-vesilämpöpumpun hankintakustannukset olivat huomattavasti pienemmät. (33)

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän käyttöiäksi voidaan olettaa 15–20 vuotta, jolloin kaikissa edellä mainituissa laskentatapauksissa PILP-järjestelmän asentamisella on mahdollista saavuttaa säästöjä järjestelmän oletetulla käyttöajalla. Tosin osassa laskennoista ei ollut kuin suuntaa-antavaa tietoa järjestelmän hankinta- ja asennuskustannuksista, jolloin takaisinmaksuaika saattaa olla pidempi tai lyhyempi.

Therecon internetsivuilla luvataan heidän PTAET-järjestelmän takaisinmaksuajaksi yleensä alle 10 vuotta ja joissain kohteissa pitäisi päästä jopa 4–5 vuoden takaisinmaksuaikaan. (34) Huomattavaa on, että lähes kaikissa siteeratuissa insinööritöissä päästiin laskennoissa alle 10 vuoden takaisinmaksuaikojen ja myös valmistajat lupaa-
vat alle 10 vuoden takaisinmaksuaikoja.

Selvää on kuitenkin, että säästöt ja PILP-järjestelmän kannattavuus ovat hyvin tapauskohtaisia ja vaativat hyvän suunnittelun ja toteutuksen, jotta järjestelmillä päästäisiin mahdollisimman suuriin säästöihin.

8.3 Ympäristönäkökulma

Matilainen tutki insinööriyössään myös PILP-laitteiston vaikutuksia primäärienergian kulutukseen (7):

Vuoden 2012 kulutustietojen perusteella laskettuna PILP-laitteiston käyttöönotto on vähentänyt vuositason vajeat 67 MWh eli reilut 12 % energiamuotojen kertoimien mukaisilla lukuarvoilla laskettua lämmitysenergian (primäärienergian) kulutusta.

Matilaisen laskelmien mukaan PILP-laitteiston käyttöönotto oli vähentänyt lämpöenergian kulutuksesta aiheutuvia fossiilisia hiilidioksidipäästöjä vuositason 57 prosenttia. Mikäli PILP-laitteiston tarvitsema sähkö olisi hankittu Vantaan Energialta, olisi CO₂-päästöjen vähennys ollut merkittävästi pienempi, mutta kuitenkin 39 prosenttia.

Matilaisen mukaan rakennuksen lämpöenergiankulutuksesta aiheutuvien CO₂-päästöjen todellinen määrä voi vaihdella paljon sen mukaan, millä paikkakunnalla rakennus sijaitsee ja millä polttoaineilla kaukolämpöä tuotetaan. (7)

Kuten tuloksista huomataan, PILP-laitteistolla on mahdollista vähentää kohtalaisesti lämmitysenergian kulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. On kuitenkin muistettava, että mahdolliset energiasäästöt ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen riippuvat paljon kiinteistöstä, poistoilmalämpöpumpun käyttötavasta sekä PILP:n rinnalla käytettävästä energiamuodosta.

9 Yhteenveto

Insinööriyössä oli tarkoitus tutustua poistoilmalämpöpumpun tekniikkaan ja siihen, miten poistoilmalämpöpumppua voi hyödyntää vanhoissa kaukolämmitteisissä kerrostaloissa ja millaisiin säästöihin niillä on mahdollista päästä. Tarkoituksena oli tutkia jo tehtyjen opinnäytetöiden tuloksia ja valmistajien materiaaleja, jotta saataisiin selville, onko poistoilmalämpöpumppu kannattava sijoitus energiakustannusten alentamisen kannalta ja koneellisen poiston lämmöntalteenotoksi.

On selvää, että poistoilmalämpöpumpuilla on mahdollista saada kohtalaisia kustannussäästöjä aikaan ja yleensä laitteisto on maksanut investointi- ja huoltokustannuksensa takaisin alle kymmenessä vuodessa. Jos lähtökohtana on pelkästään energiakustannusten alentaminen, poistoilmalämpöpumppujärjestelmä on varteenotettava ja suhteellisen helppo ratkaisu vanhoille kerrostalokiinteistöille. Tulee kuitenkin muistaa, että laskelmissa ei ole huomioitu mahdollisia laitteiston rikkoutumisia, energian hinnan nousua ynnä muita seikkoja, jotka voivat vaikuttaa PILP-järjestelmän kannattavuuteen pitkällä aikavälillä.

Oletettavaa on, että mielenkiinto lämpöpumppujärjestelmiä, mukaan lukien poistoilmalämpöpumppujärjestelmiä, kohtaan kasvaa, kun energian hinnat jatkavat kasvuaan ja laitteistot kehittyvät. Suomessa myös iso osa olemassa olevista asuinkerrostalokiinteistöistä on linjasaneerauksen tai jonkin muun suuren saneerauksen tarpeessa, jolloin poistoilmalämpöpumpun asentaminen samassa yhteydessä olisi usein järkevää.

Jatkossa olisi hyvä selvittää teoreettisin ja käytännön keinoin lämpöpumppujärjestelmien kannattavuus pitkällä aikavälillä kaukolämmön rinnalla sekä olisi hyvä miettiä, mikä lämpöpumppujärjestelmä olisi kannattavin vanhan kiinteistön kaukolämmön rinnakkaisjärjestelmänä. Käytännössä tämä tarkoittaisi maa-, poistoilma- ja ilma-vesilämpöpumppujen vertailua.

Lähteet

- 1 Perälä, Osmo; Perälä, Rae. 2013. Lämpöpumput. Tallinna: Alfamer Oy.
- 2 Lämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys vuosina 1996-2012. 2014. Verkkodokumentti. SULPU.
<http://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/SULPU%2C%20I%C3%A4mp%C3%B6pumpputilasto%202013%2C%20kuvaajat.pdf>. Luettu 23.2.2014.
- 3 Lämpöpumppujen vuosittaiset myyntimäärät 1996-2012 kappaleina. 2014. Verkkodokumentti. SULPU.
<http://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/SULPU%2C%20I%C3%A4mp%C3%B6pumpputilasto%202013%2C%20kuvaajat.pdf>. Luettu 23.2.2014.
- 4 Lämpöpumppujen myyntimäärät vuosittain 1996-2012 euroina kuluttajahinnoin. 2014. Verkkodokumentti. SULPU.
<http://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/SULPU%2C%20I%C3%A4mp%C3%B6pumpputilasto%202013%2C%20kuvaajat.pdf>. Luettu 23.2.2014.
- 5 Lämpöpumppuala kasvoi rakentamisen alamäestä huolimatta ja määrä ylitti jo 600.000. 2013. Verkkodokumentti. SULPU. http://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset_publisher/WD1ExS3CMra3/content/lampopumppuala-kasvoi-rakentamisen-alamaesta-huolimatta-ja-maara-ylitti-jo-600-000. Luettu 22.2.2014
- 6 Toiminta. 2014. Verkkodokumentti. Nibe.
<http://www.nibe.fi/Tuotteet/Poistoilmalampopumput/Toiminta>. Luettu 22.2.2014
- 7 Matilainen, Ari. 2013. Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen vanhassa kerrostalossa. Insinööritö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. <https://publications.theseus.fi>.
- 8 Energian säästö. 2014. Verkkodokumentti. Ilmalämpöpumput.
<http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto>. Luettu 23.2.2014
- 9 Antikainen, Pasi. 2011. Lämpöpumppujärjestelmät integroidussa kylmä- ja lämpötehototossa. Kandidaatin työ. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/72671/Kandidaatinty%c3%b6%20Pasi%20Antikainen.pdf?sequence=1>.
- 10 Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. Lämpöpumppujen energialaskentaopas.
<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B10A>

732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%257D%2F30757&ei=K0c1U6jeAfHV4QS7goDoDw&usg=AFQjCNFBNtTCAYi3EL4KB9OFLIC-plUVA&bvm=bv.63808443,d.bGE&cad=rja.

- 11 Käynnistysavustus. 2013. Verkkodokumentti. ARA.
<http://www.ara.fi/kaynnistysavustus>. Luettu 1.3.2014
- 12 Neuvonen, Petri, Mäkiö, Erkki; Malinen, Maarit. 2006. Kerrostalot 1880–2000. Tampere: Rakennustieto Oy.
- 13 Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen asuinkerrostaloissa. 2014. Verkkodokumentti. Rakennusperintö.
http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/Korjaus_artikkelit/fi_FI/Painovoimaisen_ilman_vaihdon_tehostaminen_asuinkerrostaloissa. Luettu 2.3.2014
- 14 Kaukolämmön käsikirja. 2006. Kaukolämpö. Helsinki: Energiateollisuus ry.
- 15 Korjausrakentaminen. 2012. Verkkodokumentti. Suomen Arkkitehtiliitto SAFA.
http://www.safa.fi/fin/safa/kestavan_suunnittelun_sivusto_-_eko-boxi/korjausrakentaminen. Luettu 31.3.2014
- 16 Kaukolämmön hinta. 2014. Verkkodokumentti. Energiateollisuus.
<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/kaukolammon-hinta>. Luettu 28.3.2014.
- 17 Kaukolämmön hinnat tyyppitaloissa eri paikkakunnilla. 2014. Verkkodokumentti. Energiateollisuus. <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla>. Luettu 28.3.2014.
- 18 Kaukolämmön hinta +8% - rokottaa erityisesti kotitalouksia. 2013. Verkkodokumentti. Talouselämä.
<http://www.talouselama.fi/uutiset/kaukolammon+hinta+8++rokottaa+erityisesti+kotitalouksia/a2191466>. Luettu 28.3.2014.
- 19 Hintatilastot. 2014. Verkkodokumentti. Energiavirasto.
<http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>. Luettu 1.4.2014.
- 20 Sähkön hintakehitys Suomessa. 2014. Verkkodokumentti. 220 Energia.
<http://www.220energia.fi/nain-varmistamme-sinulle-halvemman-hinnan/sahkon-hintakehitys-suomessa>. Luettu 1.4.2014.
- 21 Poistoilmalämpö. 2014. Verkkodokumentti. Ilmair.
<http://www.ilmair.fi/poistoilmalampo.html>. Luettu 2.4.2014.

- 22 Lammert, Laura. 2011. Kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistämisen kytkentä- vaihtoehtoja. Insinööritoimisto. Metropolia ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. <https://publications.theseus.fi>.
- 23 Energiategollisuus ry. Rakennusten kaukolämmitys; määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Helsinki.
- 24 Toimintaselostus. 2014. Verkkodokumentti. Thereco. <http://www.thereco.fi/images/stories/toimintaselostus.pdf>. Luettu 16.3.2014.
- 25 Kuvagalleria. 2014. Verkkodokumentti. Thereco. <http://www.thereco.fi/laitteistot/18-galleria>. Luettu 16.3.2014.
- 26 Fjärrvärmecentralen Kopplingsprinciper rapport. 2009:3. Svensk Fjärrvärme AB Ruotsi.
- 27 Laitekortti. 2014. Verkkodokumentti. Thereco. <http://www.thereco.fi/images/stories/Laitekortit/laitekortti%20ptaet%2018.1.pdf>. Luettu 15.3.2014.
- 28 Naavatar-esite. 2014. Verkkodokumentti. Naavatar. http://naavatar.fi/wp-content/uploads/2012/09/naavatar_esite_K_LR.pdf. Luettu 15.3.2014.
- 29 Hydrocellin LTO-tuotteet. 2014. Verkkodokumentti. Hydrocell. <http://www.hydrocell.fi/lammonsiirtimet/tuotteet/>. Luettu 4.4.2014.
- 30 Suunnitteluohjeita. 2014. Verkkodokumentti. Thereco. <http://www.thereco.fi/images/stories/Suunnitteluohjeita.pdf>. Luettu 29.3.2014.
- 31 Lukander, Jarkko. 2013. Poistoilmalämpöpumppu asuinkerrostalon lämmön talteenotossa. Insinööritoimisto. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. <https://publications.theseus.fi>.
- 32 Huuhtanen, Tero. 2012. Poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistössä. Insinööritoimisto. Metropolia ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. <https://publications.theseus.fi>.
- 33 Kankkunen, Tuomas. 2012. Palvelurakennuksen lämpöpumppu lämmönlähteenä poistoilma tai ulkoilma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma.
- 34 Lämmön talteenoton saneeraus. 2014. Verkkodokumentti. Thereco. <http://www.thereco.fi/laitteistot/8-laemmoen-talteenoton-saneeraus>. Luettu 5.4.2014.